

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA V NITRE**

**2118837**

**DIPLOMOVÁ PRÁCA**

**2010**

**Bc. Simona HOLUBOVÁ**

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA V NITRE  
FAKULTA AGROBIOLÓGIE A POTRAVINOVÝCH ZDROJOV**

**DYNAMIKA DUSÍKA V PÔDE POD PŠENICOU LETNOU F.  
OZIMNOU V ZÁVISLOSTI OD AGROTECHNICKÝCH  
OPATRENÍ**

**DIPLOMOVÁ PRÁCA**

Študijný program:	Agroekológia
Študijný odbor:	6.1.1. Všeobecné poľnohospodárstvo
Pracovisko (katedra/ústav):	Katedra environmentalistiky a zoológie
Vedúci diplomovej práce:	doc. Ing. Peter Ondrišík, PhD.

**Nitra 2010**

**Bc. Simona HOLUBOVÁ**

## Čestné vyhlásenie

Podpísaná Simona Holubová týmto prehlasujem, že som predloženú diplomovú prácu na tému „Dynamika dusíka v pôde pod pšenickou letnou f. ozimnou v závislosti od agrotechnických opatrení“, ktorá bezprostredne naväzuje na moju bakalársku prácu, vypracovala samostatne s použitím uvedenej literatúry.

Som si vedomá zákonných dôsledkov, ak horeuvedené údaje nie sú pravdivé.

V Nitre 3. marca 2010

---

Simona Holubová

## **Pod'akovanie**

Touto cestou by som rada pod'akovala vedúcemu diplomovej práce doc. Ing. Petrovi Ondrišíkovi, PhD. za poskytnuté rady a pripomienky pri vypracovaní tejto diplomovej práce ako aj Ing. Magdaléne Fridrichovej za pomoc pri analytickom spracovaní pôdnych vzoriek.

## Abstrakt

V priebehu vegetačných období 2006/2007 a 2007/2008 bol na výskumno-experimentálnej základni SPU v Nitre – Dolná Malanta realizovaný pokus, ktorým sme sledovali vplyv spôsobu obrábania, hnojenia, roku, termínu a hĺbky odberu pôdnej vzorky na dynamiku anorganického dusíka a jeho foriem v pôde. Pôdne vzorky boli laboratórne spracované a namerané hodnoty štatisticky vyhodnotené. Podľa výsledkov štatistickej analýzy, mala najvýznamnejší vplyv na obsah dusičnanového dusíka hĺbka odberu 0,0 – 0,3 m s priemernou hodnotou  $4,56 \text{ mg.kg}^{-1}$ , rok 2006/2007 ( $4,41 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) a termín odberu v jesennej časti vegetácie ( $6,45 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). Vplyv na obsah amónneho dusíka bol najvyšší v prípade roku 2007/2008 ( $5,67 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), nasleduje vplyv obrábania tanierovaním (B2) s priemernou hodnotou  $5,53 \text{ mg.kg}^{-1}$ , hnojenie NPK hnojivami so zaoraním pozberových zvyškov ( $5,62 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) a nakoniec termín odberu, konkrétne v jarnej časti vegetácie ( $5,55 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). Pre anorganický dusík je zostupné poradie významnosti preukazných faktorov nasledovné: hĺbka 0,0 – 0,3 m ( $9,73 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), odber v jesennej časti vegetácie ( $11,08 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) a hnojenie NPK hnojivami so zaoraním pozberových zvyškov ( $9,36 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). Záverom možno konštatovať, že na obsah sledovaných foriem dusíka má zásadný vplyv hĺbka, rok a termín odberu, zatiaľ čo vplyv hnojenia a obrábania pôdy je na ich premenlivosť menej významný.

**Kľúčové slová:** pôdny dusík, anorganický dusík, kolobeh dusíka, obrábanie pôdy

## Abstract

In growing seasons 2006/2007 and 2007/2008 an experiment was run at the research platform of the SPU Nitra in Dolná Malanta focused on how cultivation and fertilisation methods, sampling year, season and depth may affect the dynamics of soil nitrogen and its forms. Soil samples were processed in the laboratory and measured data was statistically evaluated. The statistical analysis has shown that factors with the greatest impact on nitrate nitrogen contents include: sampling depth 0,0 – 0,3 m with the average contents 4,56 mg.kg<sup>-1</sup>, sampling year 2006/2007 (4,41 mg.kg<sup>-1</sup>) and sampling in autumn growing season (6,45 mg.kg<sup>-1</sup>). Factors with the greatest impact on ammonium nitrogen contents include year 2007/2008 (5,67 mg.kg<sup>-1</sup>), disc cultivation (B2) with the average of 5,53 mg.kg<sup>-1</sup>, fertilisation with NPK fertilisers while preceding crop remains was ploughed in (5,62 mg.kg<sup>-1</sup>), and sampling in spring growing season (5,55 mg.kg<sup>-1</sup>). The factors influencing inorganic nitrogen contents go in their digressive order as follows: depth 0,0 – 0,3 m (9,73 mg.kg<sup>-1</sup>), sampling in autumn growing season (11,08 mg.kg<sup>-1</sup>) and fertilisation with NPK fertilisers while preceding crop remains was ploughed in (9,36 mg.kg<sup>-1</sup>). We can eventually state that sampling depth, year and season have cardinal impact on the contents of the monitored nitrogen forms while fertilisation and cultivation methods show only little impact.

**Key words:** soil nitrogen, inorganic nitrogen, nitrogen cycle, cultivation

# Obsah

Úvod .....	1
<b>1 PREHĽAD O SÚČASNOM STAVE RIEŠENEJ PROBLEMATIKY .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Zdroje dusíka .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 Formy dusíka v pôde .....</b>	<b>4</b>
1.2.1 Organický dusík .....	5
1.2.2 Anorganický dusík .....	6
<b>1.3 Kolobeh dusíka .....</b>	<b>7</b>
<b>1.4 Sezónne zmeny obsahu anorganického dusíka v pôde .....</b>	<b>9</b>
<b>1.5 Premeny dusíka v pôde .....</b>	<b>11</b>
1.5.1 Biologická fixácia vzdušného dusíka .....	11
1.5.1.1 Symbiotická fixácia vzdušného dusíka .....	11
1.5.1.2 Asymbiotická fixácia vzdušného dusíka .....	12
1.5.2 Mineralizácia (amonizácia) .....	13
1.5.3 Nitrifikácia .....	15
1.5.3.1 Autotrofná nitrifikácia .....	17
1.5.3.2 Heterotrofná nitrifikácia .....	19
1.5.4 Imobilizácia .....	19
1.5.4.1 Biologická imobilizácia .....	21
1.5.4.2 Nebiologická imobilizácia .....	22
<b>1.6 Straty dusíka .....</b>	<b>23</b>
1.6.1 Volatilizácia .....	23
1.6.2 Denitrifikácia .....	24
1.6.2.1 Priama denitrifikácia .....	26
1.6.2.2 Nepriama denitrifikácia .....	26
1.6.3 Vyplavovanie dusíka z pôdy .....	27
1.6.4 Straty dusíka eróziou .....	28
1.6.5 Využívanie dusíka rastlinami .....	28
<b>1.7 Vplyv agrotechnických zásahov na dynamiku dusíka v pôde .....</b>	<b>30</b>
<b>1.8 Vplyv hnojenia na dynamiku dusíka v pôde .....</b>	<b>31</b>
<b>2 CIEĽ PRÁCE .....</b>	<b>34</b>
<b>3 MATERIÁL A METODIKA .....</b>	<b>35</b>
<b>3.1 Stanovenie dusičnanového dusíka (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) .....</b>	<b>36</b>

<b>3.2 Stanovenie amónneho dusíka (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) .....</b>	<b>37</b>
<b>4 VÝSLEDKY .....</b>	<b>38</b>
<b>4.1 Hodnotenie dusičnanového dusíka .....</b>	<b>38</b>
4.1.1 Vegetačné obdobie 2006/2007 .....	39
4.1.1.1 Variant B1 – stredne hlboká orba .....	39
4.1.1.2 Variant B2 – tanierovanie .....	39
4.1.2 Vegetačné obdobie 2007/2008 .....	40
4.1.2.1 Variant B1 – stredne hlboká orba .....	40
4.1.2.2 Variant B2 – tanierovanie .....	41
4.1.3 Sumarizácia dusičnanového dusíka .....	42
4.1.4 Štatistická analýza dusičnanového dusíka .....	43
<b>4.2 Hodnotenie amónneho dusíka .....</b>	<b>46</b>
4.2.1 Vegetačné obdobie 2006/2007 .....	47
4.2.1.1 Variant B1 – stredne hlboká orba .....	47
4.2.1.2 Variant B2 – tanierovanie .....	47
4.2.2 Vegetačné obdobie 2007/2008 .....	48
4.2.2.1 Variant B1 – stredne hlboká orba .....	48
4.2.2.2 Variant B2 – tanierovanie .....	49
4.2.3 Sumarizácia amónneho dusíka .....	50
4.2.4 Štatistická analýza amónneho dusíka .....	51
<b>4.3 Hodnotenie anorganického dusíka .....</b>	<b>54</b>
4.3.1 Vegetačné obdobie 2006/2007 .....	55
4.3.1.1 Variant B1 – stredne hlboká orba .....	55
4.3.1.2 Variant B2 – tanierovanie .....	55
4.3.2 Vegetačné obdobie 2007/2008 .....	56
4.3.2.1 Variant B1 – stredne hlboká orba .....	56
4.3.2.2 Variant B2 – tanierovanie .....	57
4.3.3 Sumarizácia anorganického dusíka .....	58
4.3.4 Štatistická analýza anorganického dusíka .....	59
<b>Diskusia .....</b>	<b>62</b>
<b>Záver .....</b>	<b>65</b>
<b>Použitá literatúra .....</b>	<b>68</b>
<b>Prílohy .....</b>	<b>72</b>



# Úvod

Pôda nás sprevádza počas celého nášho života. Od kvality pôdy sa odvíja kvalita nášho života. Je neoddeliteľnou súčasťou životného prostredia a aj v treťom tisícročí zostane najväčším bohatstvom každého štátu.

Ľudia žijú z pôdy, na pôde a s pôdou. Bola, je i bude jedným z najcennejších bohatstiev človeka. Svoj pôvod má vo fyzikálnych, chemických a biologických vzťahoch medzi materskou horninou a atmosférou. Pre človeka je nenahraditeľná pre svoju úrodnosť. Veľkosť úrod závisí nielen od pôdy a jej prirodzenej úrodnosti, ale súčasne sa uplatňujú vplyvy vonkajšieho prostredia, produkčná schopnosť rastlín a kultivačné zásahy človeka.

Vo Svetovej ale aj v Európskej charte o pôde sa okrem iného zdôrazňuje, že pôda je jedným z najvzácnejších prírodných zdrojov, ktorý umožňuje rastlinám, človeku a zvieratám žiť na Zemi.

Svojim rozsahom a funkciami je esenciálnou zložkou prírody. Umožňuje produkovať potraviny a suroviny, recykluje odpady, tvorí leso-poľnohospodársku krajinu, filtruje a zadržiava vodu, umožňuje využívať a zhodnocovať slnečnú energiu, zabezpečuje kolobeh a ekologicky vyváženú bilanciu látok v prírode, udržiava diverzitu rastlinných a živočíšnych druhov a primárne formuje kvalitu životného prostredia, je zdrojom surovín a kultúrnym dedičstvom vzdialenej a nedávnej minulosti, je istotou pre život a spoločenské bytie obyvateľstva.

Pôda ako zložka prírody veľmi citlivo reaguje na rôzne negatívne vplyvy spôsobené exhalátmi energetiky, priemyslu, dopravy, či vstupom cudzorodých látok, pretože predstavuje prienik jednotlivých sfér našej planéty: litosféry, atmosféry, hydrosféry, biosféry a antroposféry.

V poslednom období, aj v súvislosti s prebiehajúcimi globálnymi zmenami na našej planéte, si človek túto skutočnosť uvedomuje intenzívnejšie.

Trvalo pomerne dlho, kým došlo k radikálnej zmene názorov na úlohu dusíka v živote rastlín. Prvé názory na dusík vychádzali zo stanoviska, že dusík je inertný plyn "neschopný života".

Ako dnes už vieme, dusík je živina, ktorá významnou mierou ovplyvňuje výšku a kvalitu rastlinnej produkcie, ako v ekologickom, tak aj v konvenčnom poľnohospodárstve.

Hnojenie zaraďujeme medzi dôležité intenzifikačné faktory rastlinnej výroby. Cieľom hnojenia dusíkom v poľnohospodárstve je dosiahnuť optimálny vplyv na výnosy a kvalitu plodín a zabrániť nežiaducim stratám do ovzdušia a podzemných vôd.

Živiny z hnojív a pôdnej zásoby sa významnou mierou podieľajú na procesoch tvorby fytohmoty. Pri ich nedostatku sú tieto procesy obmedzované, úrody sa znižujú a produkcia potravín stagnuje.

Opačným problémom je vysoká intenzita hnojenia (čo zatiaľ u nás veľkoplošne nehrozí), prípadne nesprávne použitie najmä dusíkatých hnojív. Tento stav môže viesť k translokácii dusičnanov do vodných zdrojov a k zníženiu kvalitatívnych vlastností produkcie.

Bez udržateľného využívania pôdy nie je mysliteľný udržateľný vývoj prírody, ale ani udržateľný vývoj ekonomických a sociálnych parametrov spoločnosti.

Podceňovanie možných dôsledkov sa z ekonomických ani existenčných dôvodov nevypláca. Preto problematika výživy rastlín je závislá na jej skúmaní a poznávaní, ako aj schopnosti využívať podmienky prirodzeného kolobehu živín v prírode.

Starostlivosť o pôdu je prejavom vyspelosti štátu a kultúrnej úrovne jeho obyvateľstva.

# 1 PREHĽAD O SÚČASNOM STAVE RIEŠENEJ PROBLEMATIKY

## 1.1 Zdroje dusíka

Dusík je spolu s uhlíkom, kyslíkom a vodíkom základným stavebným prvkom a tvorí podstatnú časť živej hmoty. Je významnou živinou nielen pre rastliny, ale aj pre pôdne mikroorganizmy. Predstavuje významnú zložku bielkovín, aminokyselín, nukleotidov, nukleových kyselín, enzýmov, chlorofylu, fosfatidov, alkaloidov a ďalších zlúčenín (Fecenko, Ložek, 2000).

Dusík patrí medzi biogénne prvky, z ktorých sa syntetizujú organické dusíkaté látky tel všetkých organizmov. Je jedným z hlavných úrodovných prvkov, závisí od neho nielen množstvo, ale aj kvalita produkcie rastlín (Javoreková et al., 2008).

Atmosféra obsahuje až 78 % molekulového dusíka, ktorý je však chemicky mimoriadne nereaktívny a je nevhodný ako živina pre väčšinu organizmov. V procese kolobehu dusíka v prírode sa len časť z atmosferického dusíka dostáva do pôdy spolu s atmosférickými zrážkami a fixáciou mikroorganizmami (Šimonovičová, Pavličková, 2002).

Celkové množstvo dusíka na našej planéte sa odhaduje na  $2,17 \cdot 10^{17}$  (Fecenko, Ložek, 2000) ton a celkový obsah dusíka v pôde sa bežne pohybuje v rozmedzí 0,1 - 0,2 %, čo predstavuje v ornici 3000 - 6000 kg N na 1 ha (Vaněk, 2007).

Atmosféra je najväčším rezervoárom molekulového dusíka (78 %), pri jeho tvorbe pôsobili zemská kôra a magma vrátane vulkánov, postupne, ako sa na našej planéte objavili prvé formy života, dusík sa v organizmoch biologicky viazal (aminokyseliny, bielkoviny, nukleové kyseliny a iné). To bol hlavný mechanizmus prechodu molekulového dusíka atmosféry do viazanej formy biosféry. Podľa súčasných poznatkov predstavuje tento prínos  $60-80 \cdot 10^6$  ton dusíka ročne.

Atmosféra obsahuje okolo  $3,8 \cdot 10^{15}$  ton molekulového  $N_2$ , kým litosféra približne  $18 \cdot 10^{15}$  ton  $N_2$ . V ornici sa nachádza približne 0,05 až 0,3 % celkového dusíka, čo predstavuje 2,25 až  $13,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  do hĺbky 0,3 m (Javoreková et al., 2008).

V pôde sa dusík nachádza v anorganickej forme, zvlášť ako soli amónne a soli kyseliny dusičnej a dusitej. Okrem toho vo forme organických zlúčenín ako súčasť humusu a rozličných organických zlúčenín, ktoré vznikajú v dôsledku rozkladu organických zvyškov rastlín a živočíchov i mikroorganizmov. Sú to predovšetkým bielkovinové látky a produkty ich rozkladu – aminokyseliny (Zima, 1999).

V prirodzenom ekosystéme sa obsah dusíka v pôde udržiava na relatívne ustálenej hladine. Vzťah dusík – pôda je súčasne dynamický a každá zmena vlastností prostredia môže viesť k novej hladine pôdneho dusíka. Celkovým pôsobením klímy, vegetačného krytu, nadmorskej výšky, pôdneho typu a človeka je výsledkom rôznych obsahov dusíka v pôdach a to nielen v povrchovej vrstve, ale aj v profile (Bielek, 1997).

Bujnovský (2003) uvádza, že zodpovedajúci podiel hlavných zdrojov dusíka na jeho celkovom vstupe do pôdy je nasledovný: priemyselné hnojivá 38,7 % (0,0 až 53,2 %), hnojivá zo živočíšnej výroby 29,2 % (21,6 až 37,3 %), atmosférická depozícia 17,6 % (11,2 až 32,3 %), biologická fixácia dusíka 12,4 % (5,3 až 29,8 %) (Galuščáková, 2007).

Celkový obsah dusíka v ornici sa pohybuje v rozpätí od 0,05 do 0,55%. Priemerné hodnoty celkového dusíka v reprezentatívnych pôdnych typoch v SR sa pohybujú od 0,11 do 0,23 %.

V ornici kvalitných a vysoko produkčných pôd je dusíka podstatne viac v porovnaní s málo produkčnými pôdami. Najväčšie zásoby dusíka sa viažu v lužných pôdach, menej sa ho nachádza v černozemiach a relatívne najmenej v hnedozemiach, luvizemiach a regozemi.

Výskumný ústav pôdnej úrodnosti v Bratislave vykonal podrobnú klasifikáciu (kategorizáciu) pôd SR podľa obsahu celkového dusíka ( $N_t$ ) a určil kategórie pôd s nasledovnými hraničnými hodnotami (Fecenko, Ložek, 2000):

veľmi nízky obsah	do 0,12 % $N_t$
nízky obsah	0,121-0,16 % $N_t$
stredný obsah	0,161-0,24 % $N_t$
vysoký obsah	0,241-0,34 % $N_t$
veľmi vysoký obsah	nad 0,34 % $N_t$

Na území Slovenska je takmer 700 tisíc ha pôdy s nízkym a veľmi nízkym obsahom celkového dusíka. So stredným obsahom  $N_t$  sa nachádza asi 1 300 tis. ha a s vysokým a veľmi vysokým obsahom  $N_t$  je to 400 tisíc ha (Bielek, 1997).

## 1.2 Formy dusíka v pôde

Pôda je integrálnou súčasťou ekosystémov Zeme situovanou medzi povrchom a materskou horninou. Je rozdelená na horizonty so špecifickými fyzikálnymi, chemickými a biologickými charakteristikami a rozdielnymi funkciami. Koncept pôdy tiež zahŕňa aj

pórovité sedimentárne horniny a iné permeabilné materiály spolu s vodou, ktorú obsahujú (Vilček et al., 2005).

Dusík v prírode pozostáva z dvoch izotopov a to  $^{14}\text{N}$  predstavuje 99,62% a  $^{15}\text{N}$  predstavuje 0,38%. V prízemnej vrstve vzduchu podiel dusíka predstavuje 75,54 hmotnostných percent, čo je 78,09% objemových (Fecenko, Ložek, 2000).

Celkový dusík v pôde ( $N_t$ ) je reprezentovaný organickým ( $N_{\text{org}}$ ) a anorganickým ( $N_{\text{an}}$ ) dusíkom. Organický dusík je dominantnou frakciou pôdneho dusíka a na obsahu celkového dusíka sa podieľa 97 až 99 %. Anorganický dusík tvorí iba 0,5 až 3 % podiel na  $N_t$  (Kováčik, 1997).

Obsah celkového dusíka v pôde je hodnota pomerne stála, nakoľko dusík je v rozhodujúcej miere zabudovaný do organických zlúčenín, ktoré sú relatívne ťažko mikrobiologicky a chemicky rozložiteľné. Prevažná časť dusíka je viazaná na aromatické jadrá humínových kyselín, fulvokyselín, humínov a ďalších zložitých organických zlúčenín.

Medzi rôznymi formami dusíka sa uplatňuje dynamická rovnováha. Dusík je fixovaný rôznymi procesmi a uvoľňovaný do atmosféry mikrobiologickou činnosťou a chemickými reakciami.

Zdrojom dusíka pre rastliny je dusík z priemyselných hnojív, organických hnojív, pôdnej organickej hmoty ale aj fixácia vzdušného dusíka symbiotickými a nesymbiotickými baktériami a taktiež elektrické výboje v atmosfére (Fecenko, Ložek, 2000).

### 1.2.1 Organický dusík

Organický dusík v pôde tvorí podstatnú časť z celkového dusíka v pôde a jeho podiel predstavuje 97-99% (Fecenko, Ložek, 2000). Asi 24 – 50% organického dusíka tvoria proteíny a polypeptidy, 3 – 10% nukleové kyseliny, 5 – 10% aminokyseliny a asi 50% tzv. neidentifikované organické humusové látky (Bielek, 1998).

Humusové látky tvoria podstatnú časť organickej hmoty. Sú to látky vytvorené druhotne z primárnej organickej hmoty (odumreté telá organizmov a ich časti) činnosťou mikroorganizmov v zložitých procesoch (Števlíková, Kopčanová, 1994).

Podľa schopností podliehať mineralizácii, rozdeľujeme pôdny organický dusík na hydrolyzovateľný a nehydrolyzovateľný, ktorý len ťažko podlieha rozkladu a reprezentuje väčšinu organického dusíka v pôde (Bielek, 1998).

Hydrolyzovateľný dusík predstavuje amidy, alfa aminokyseliny, aminocukry, purínové a pyrimidínové bázy, kyselinu hipúrovú, kyselinu močovú, močovinu a ďalšie organické látky, ktoré podliehajú spätnej mineralizácii až na minerálne formy dusíka a tie môžu byť rastlinou opäť využívané. Zdrojom hydrolyzovateľného dusíka sú rastlinné a živočíšne zvyšky, biomasa mikroorganizmov, ich metabolity a všetky druhy organických hnojív. Nehydrolyzovateľný zvyšok tvoria stabilnejšie humusové látky zložitejších chemických väzieb, ktoré sú ťažko rozložiteľné mikroorganizmami, ale i chemicky (Fecenko, Ložek, 2000).

### 1.2.2 Anorganický dusík

Anorganický dusík ( $N_{an}$ ) predstavuje v pôde malú časť celkového dusíka ( $N_t$ ) a jeho množstvo sezónne podlieha častým a rýchlym zmenám.  $N_{an}$  tvorí iba 0,5 - 3% podiel na  $N_t$  (Ondrišík, 1998)

Anorganický podiel dusíka predstavuje 1-2 % a je reprezentovaný najmä dusičnanovými ( $NO_3^-$ ), amónnymi ( $NH_4^+$ ) a dusitanovými ( $NO_2^-$ ) iónmi. Prechodne sa v pôde vyskytujú tiež oxidy dusíka ( $N_2O$ ,  $NO$ ,  $NO_2$ ) (Fecenko, Ložek, 2000).

Obsah anorganického dusíka je výsledkom pôsobenia polykauzálnych vzťahov medzi obsahom a kvalitou organickej hmoty a v nej viazaného dusíka a podmienkami jeho mineralizácie, podmienenej mikrobiálnou činnosťou. Do interakcie biochemických procesov v pôde vstupujú aj poveternostné podmienky a pôdne vlastnosti, v spojitosti s ich fyzikálnymi a chemickými charakteristikami (Ondrišík, 1998).

Tvorba anorganického dusíka je vyvolaná aerobným rozkladom pôdnej organickej hmoty. Prísunom dusíkatých hnojív sa podiel anorganického dusíka v pôde zvyšuje a niekedy dochádza ešte k jeho dodatočnému zvýšeniu v pôde (priming effect) v dôsledku vyvolanej vyššej mineralizácie dusíkatej organickej hmoty aplikovaním dusíkatých hnojív (Fecenko, Ložek, 2000).

Anorganické formy pôdneho dusíka zahŕňajú  $NH_4^+$ ,  $NO_3^-$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO$  a  $N_2$  a dusík sa môže v pôde nachádzať v štyroch základných stavoch:

1. v pôdnom vzduchu,
2. v pôdnom roztoku,
3. sorbovaný v sorpčnom komplexe pôdy,
4. fixovaný v štruktúre pôdnych minerálov alebo na pôdnu organickú hmotu.

Dusík v pôdnom vzduchu je predstavovaný zmesou plynov pochádzajúcich z ovzdušia alebo je produktom prevažne biologických mechanizmov premien dusíka v pôde. Plynné formy dusíka sú základným predpokladom výmeny dusíka medzi pôdou a atmosférou a súčasne aj rozhodujúcou podmienkou tohto úseku kolobehu dusíka v prírode. Molekulárny dusík  $N_2$  využívajú rastliny v symbióze s rhizóbiami, ktoré ho fixujú.

Minerálny dusík v roztoku je tvorený hlavne rozpustnými dusičnanovými, dusitanovými a amónnymi soľami. Nevýhodou vodorozpustných foriem dusíka v pôde je ich značná pohyblivosť a tým aj náchylnosť k vyplavovaniu. Dusičnany a dusitany sa v pôde nachádzajú výlučne v pôdnom roztoku.

Amoniak vzhľadom na svoju fyzikálno-chemickú podstatu je schopný aj výmenne sa sorbovať do sorpčného komplexu pôdy. Sorpcia amoniaku je dôležitým mechanizmom ochrany dusíka pred jeho stratami z pôdneho prostredia. Obsah fixovaného amoniaku závisí od mineralogickej štruktúry pôdy, pôdneho typu, hĺbky pôdneho profilu, vlhkosti pôdy a pod. (Bielek, 1998).

Anióny  $NO_3^-$  nachádzajúce sa v pôdnom roztoku a časť  $NH_4^+$  katiónov výmenným spôsobom viazaných na pôdny sorpčný komplex predstavujú pre rastlinu prístupné formy dusíka. Zvyšovaním koncentrácie anorganického dusíka v pôdnom roztoku sa podporuje príjem dusíka rastlinami (Fecenko, Ložek, 2000).

Anorganické formy dusíka vznikajú aeróbnym rozkladom pôdnej organickej hmoty a ich zdrojmi sú aj priemyselné hnojivá (Bielek, 1998).

### **1.3 Kolobeh dusíka**

Kolobeh dusíka v prírode bez zásahov človeka je pomerne jednoduchý, pozostáva z viazania molekulového dusíka atmosféry do organických a anorganických väzieb a zo spätného uvoľňovania z týchto väzieb do atmosféry. Atmosféra je najväčším rezervoárom molekulárneho dusíka. Mechanizmus pochodu molekulárneho dusíka atmosféry do viazanej formy biosféry, podľa súčasných poznatkov predstavuje prínos  $60 - 80 \cdot 10^6$  ton dusíka ročne (Števlíková, 2006).

Človek hnojením a emisiami dusíkatých látok do prostredia významne narúša rovnováhu cyklu dusíka a tak sú v súčasnosti mnohé ekosystémy presýtené dusíkom (Tobiašová, Zaujec, 2004).

Pri kolobehu dusíka v pôde sú pozorované dva základné protichodné procesy. V prvom prípade dochádza k syntéze zložitých organických zlúčenín z minerálnych foriem dusíka, t.j. z dusičnanov a anomiaku sa dusík zabudováva (imobilizuje) do bielkovín a humusových látok. Pri opačnom procese dochádza k rozkladu zložitých organických látok cez polypeptidy, amíny, aminokyseliny na anomiak a ten sa následne oxiduje cez dusitany až na dusičnany. Tomuto procesu sa hovorí mineralizácia organických zlúčenín (Fecenko, Ložek, 2000).

Dusík v pôde podlieha početným premenám. V procesoch mineralizácie je z ľahko rozložiteľných organických látok (aminokyseliny, amidy, aminocukry, organické látky biomasy odumretých mikroorganizmov) a ďalej aj postupným rozkladom zložitých látok (napr. polypeptidov na peptidy až aminokyseliny) uvoľňovaný  $\text{NH}_3$ , ktorý je zdrojom N pre mikroflóru a môže byť využitý aj rastlinami. V pôdach však prebiehajú aj procesy opačné, kedy minerálne formy dusíka, hlavne  $\text{N-NH}_4$  sú spotrebované mikroorganizmami na výstavbu ich biomasy - tento proces sa nazýva imobilizácia. Podľa intenzity týchto procesov je v pôde viac či menej minerálneho dusíka (Vaněk, 2007).

Procesy viazania a uvoľňovania dusíka v jeho kolobehu charakterizuje celý rad mechanizmov podmienených činnosťou mikroorganizmov. Rozdeľujeme ich do troch hlavných skupín:

1. Procesy syntézy zložitých organických dusíkatých látok:

- biologická fixácia dusíka,
- symbiotické pútanie vzdušného dusíka ,
- biologická imobilizácia dusíka.

2. Procesy rozkladu (mineralizácie) organických dusíkatých látok:

- amonizácia ( močoviny, kyseliny močovej, kyseliny hipurovej, bielkovín).

3. Procesy mikrobiálnej premeny minerálnych foriem dusíka:

- nitrifikácia,
- denitrifikácia (Tobiašová, Zaujec, 2004).

Kolobeh dusíka v prírode bez zásahov človeka je pomerne jednoduchý, pozostáva z viazania molekulového dusíka do organických a anorganických väzieb a zo spätného uvoľňovania z týchto väzieb do atmosféry.

V atmosfére vznikali a vznikajú jednoduché anorganické zlúčeniny dusíka elektrickými, fotochemickými a ďalšími neznámymi mechanizmami. Tieto zlúčeniny sa s dažďovou vodou dostávajú na zemský povrch v množstve asi  $10 \cdot 10^6$  ton za rok. Z týchto zložiek sa teda skladá bilancia prechodu atmosférického dusíka planéty do biosféry.



Z biosféry sa dusík uvoľňuje späť do atmosféry najmä denitrifikáciou ako molekulový dusík. Časť organicky viazaného dusíka zostáva v pôde vo forme humusu.

Medzi viazaním  $N_2$  a jeho spätným uvoľňovaním sa vytvorila určitá dynamická rovnováha, v súčasnosti intenzívne narušovaná činnosťou človeka. Spaľovanie fosílnych palív, uhlia, nafty, zemného plynu silne narúšajú prirodzený kolobeh dusíka, čím sa dostávajú do atmosféry plynné formy dusíka ( $20 \cdot 10^6$  ton ročne).

Podľa Bieleka sa v prirodzenom ekosystéme obsah dusíka v pôde udržuje na relatívne ustálenej hladine vyplývajúcej z klímy, typu vegetácie, fyzikálno-chemických vlastností pôdy, povahy terénu a aktivity pôdných mikroorganizmov. Vzťah dusík-pôda je súčasne dynamický a každá zmena vlastností prostredia môže viesť k novej hladine pôdneho dusíka. Výsledkom je rôzny obsah dusíka v rozdielnych pôdach a to nielen v povrchovej vrstve, ale aj v profile (Javoreková et al., 2008).

#### **1.4 Sezónne zmeny obsahu anorganického dusíka v pôde**

Na zmenách obsahu anorganického dusíka v pôde sa podieľa najmä dusičnanový dusík. Ten sa v pôde viaže iba biologickou sorpciou, aj to nie trvalo, ale len do času rozloženia odumretých mikroorganizmov. Dusičnanový ión netvorí nerozpustné zlúčeniny, ale sa pohybuje v pôde v súlade s pohybom pôdnej vody.

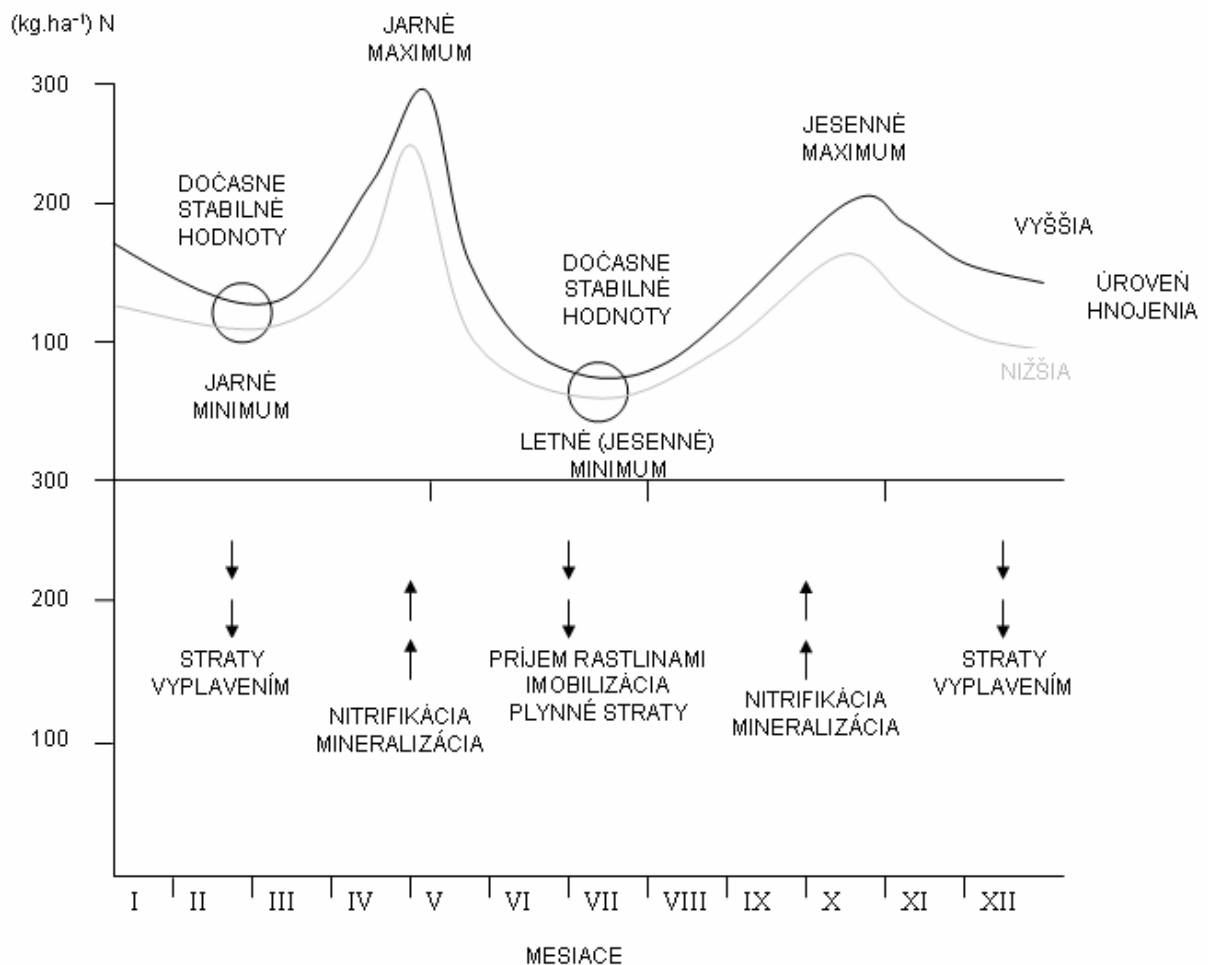
Katión  $NH_4^+$  je v pôde viazaný fyzikálno-chemickou sorpciou na pôdny sorpčný komplex (je adsorbovaný na negatívne nabitú povrchy minerálnych a organických koloidov) a môže sa v pôde udržať relatívne dlhý čas, ak nie sú priaznivé podmienky pre jeho oxidáciu, t.j. pre nitrifikáciu. Preto dusík aplikovaný na jeseň vo forme amoniakálnej, amónnej a amidickej cez priemyselné a organické hnojivá sa v zimnom období z pôdy nevyplavuje, ak pôda vykazuje aspoň priemernú sorpčnú kapacitu.

V jarnom období, následkom zvyšovania teplôt, sa činnosť nitrifikačných baktérií zintenzívňuje a katión  $NH_4^+$  sa biologickou oxidáciou - nitrifikáciou mení na pohyblivú formu, t.j. na  $NO_3^-$  anión. Pri prebytku vody v pôde vznikajú podmienky na presun dusíka v horizontálnom alebo vertikálnom smere, v smere pohybu vody, t.j. do povrchových vodných tokov alebo do hlbších vrstiev pôdy mimo koreňovú zónu rastlín.

Možnosť udržať dusík v pôde poskytuje zaoranie organickej hmoty so širokým pomerom C : N, napr. slamy, ktorá má pomer C : N 80-100 :1. V takomto prípade dochádza k dočasnej imobilizácii dusíka v pôde.

Ako znázorňuje Bízik dvojrýcholovou krivkou, v jarnom období v apríli až máji sa v dôsledku otepľovania pôdy zvyšuje činnosť nitrifikačných baktérií a následne obsah anorganického dusíka dosahuje maximálnu hodnotu (jarné maximum). Odberom dusíka pestovaným porastom, ako aj postupným znižovaním intenzity nitrifikácie sa obsah anorganického dusíka v pôde znižuje až na relatívne stabilnú hodnotu, ktorá je tesne pred a po zbere úrody. Hovorí sa mu letné minimum. Pri priaznivých vlhkostných a teplotných podmienkach v jesennom období sa začína obsah  $N_{an}$  v pôde zvyšovať (jesenné maximum) a následne klesať pred zimným obdobím. V dôsledku poklesu teplôt sa znižuje aj nitrifikačná aktivita mikroorganizmov.

Túto veľkú sezónnu variabilitu anorganického dusíka v pôde je potrebné rešpektovať a využiť v praktickej výžive rastlín pri určovaní dávok dusíka ku konkrétnym poľnohospodárskym plodinám pred založením porastov, ale aj pri prihnojovaní počas vegetácie (Fecenko, Ložek, 2000).



**Obr. 1**

**Sezónna variabilita anorganického dusíka v pôde (Bízik, 1989)**

## 1.5 Premeny dusíka v pôde

Množstvo a formy dusíka v pôdach sa pravidelne menia vzhľadom na biologické, chemické a fyzikálne procesy. Medzi najdôležitejšie premeny dusíka v pôde patria: biologická fixácia vzdušného dusíka, mineralizácia, nitrifikácia, imobilizácia.

### 1.5.1 Biologická fixácia vzdušného dusíka

Biologická fixácia je v podstate biologická redukcia vzdušného molekulárneho dusíka na amoniak. Uskutočňuje sa mikroorganizmami, výlučne prokaryontami, vybavenými špecializovaným enzýmom - nitrogenázou. Niektoré z fixátorov sú diazotrofné, t.j. sú schopné využívať ako zdroj dusíka vzdušný molekulárny dusík a súčasne aj pôdne zdroje dusíka, zatiaľ čo iné môžu fixovať dusík iba v symbióze s eukaryotickými organizmami (Šimonovičová, Pavličková, 2002).

Pôdne mikroorganizmy sú schopné viazať vzdušný dusík biologickou sorpciou a po odumretí mikroorganizmov, tento dusík môže byť prijateľný rastlinami (Fecenko, Ložek, 2000).

Biologická fixácia atmosférického dusíka v pôde sa môže uskutočňovať dvoma hlavnými spôsobmi:

- atmosférický dusík viažu voľne žijúce mikroorganizmy (asymbiotické viazanie vzdušného dusíka)
- fixácia symbiotickými mikroorganizmami, ktoré žijú v symbióze s vyššími rastlinami (symbiotické viazanie vzdušného dusíka) (Bielek et al., 1991).

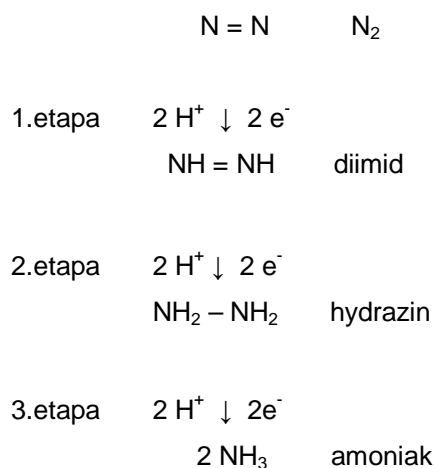
#### 1.5.1.1 Symbiotická fixácia vzdušného dusíka

Viazanie vzdušného dusíka realizované mikroorganizmami, ktoré žijú v symbióze s bôbovitými rastlinami, nazývame symbiotickým viazaním vzdušného dusíka.

Vďaka koreňovej rizosfére dochádza k asimilácii molekulárneho dusíka u viac ako 200 druhov rastlín. Okrem strukovín čiastočná fixácia N bola zistená i rizosférou ryže, kukurice, ciroku ale i pšenice. V prípade pšenice boli izolované baktérie *Azospirillum brasilense*, schopné asimilácie molekulárneho dusíka. V tomto smere sa perspektívne javí možnosť biotechnologickej kultivácie vhodných kmeňov *Azospirilla* pre účely racionalizácie dusíkatej výživy pri pestovaní obilnín (Michalík, 2001).

Z agronomického hľadiska má rozhodujúci význam symbiotická fixácia vzdušného dusíka hrčkotvornými baktériami rodu *Rhizobium*.

Na premenu  $N_2$  na  $NH_3$  baktérie využívajú energiu, ktorú rastliny získavajú fotosyntézou. Proces viazania  $N_2$  baktériami *Rhizobium* pozostáva pravdepodobne z troch etáp (Fecenko, Ložek, 2000):



*Rhizobia* poskytujú rastlinám 80-98 % dusíka v prijateľnej forme a rastlina poskytuje rhizóbiám asimilačné produkty fotosyntézy t.j. látky energeticky bohaté.

Prínos dusíka pod dobre vyvinutým a zdravým porastom bôbových rastlín zodpovedá zhruba množstvu, ktoré odčerpá priemerná úroda. Údaje sa pohybujú v rozmedzí  $80-300 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$  (Števlíková, 2006).

### 1.5.1.2 Asymbiotická fixácia vzdušného dusíka

Viazanie vzdušného dusíka realizované mikroorganizmami, ktoré voľne žijú v pôde nazývame asymbiotickým viazaním dusíka (Fecenko, Ložek, 2000).

Asymbiotické viazanie vzdušného dusíka uskutočňujú voľne žijúce heterotrofné baktérie a autotrofné sinice, medzi ktorými majú najväčší význam rody *Azotobacter*, *Clostridium*, *Anabaena* a *Nostoc* (Števlíková, Kopčanová, 1994).

Druh *Azotobacter chroococcum* je veľmi náročný na podmienky prostredia. Je prísne aeróbný, preto sa vyskytuje len v dobre prevzdušených a primerane vlhkých pôdach. Tieto podmienky spĺňajú najlepšie pôdy s hrudkovitou štruktúrou neutrálnej až slabobazilickej reakcie. Na 1 gram predýchaného sacharidu viaže 9 - 20 mg  $N_2$ . Okrem atmosférického dusíka využíva i dusík amónny, dusičnanový, dusitanový, močovinu a aminokyseliny. Ak je týchto zdrojov v pôde dostatok, neviaže  $N_2$ .

Druh *Clostridium pasteurianum* patrí do skupiny prísne anaeróbných baktérií maslového kvasenia. Energiu potrebnú na púťanie  $N_2$  (na 1 g sacharidu viaže 2 - 8 mg  $N_2$ )

získava skvasovaním sacharidov. Okrem molekulového dusíka rod *Clostridium* dobre využíva minerálne i organické formy dusíka. Baktérie rodu *Clostridium* sa nachádzajú vo vrchných vrstvách pôdy, bohatých na organické látky. Malá náročnosť na prostredie a schopnosť tvoriť spóry umožňuje jeho všadeprítomnosť. V kyslých pôdach sú hlavným fixátorom  $N_2$ .

Praktický prínos dusíka činnosťou rodov *Azotobacter* a *Clostridium* v prirodzených podmienkach je asi  $5-10 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$  (Števlíková, 2006).

Asymbiotickou fixáciou sa pôdy Slovenska ročne obohatia od 7 do  $15 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  (Kováčik, 2001). Pričom sú výrazné rozdiely medzi juhom Slovenska ( $15 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ ) a severom Slovenska ( $5 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ ) (Ložek et al., 1997).

Vzťah medzi symbiotickou a asymbiotickou fixáciou dusíka v pôdach je priemerne v pomere 80 : 20 (Rajchard, 2002).

### **1.5.2 Mineralizácia (amonizácia)**

Najvýznamnejším, najrozšírenejším a kvalitatívne najrozsiahlejším procesom sprístupňovania dusíka v pôde je mineralizácia. Mineralizácia je biologický rozklad organických látok v pôde so sprievodným uvoľňovaním minerálneho dusíka v amoniakálnej forme.

Dusík viazaný v chemicky rôznorodých dusíkatých látkach rastliny nevedia využiť. Pôsobením rôznych skupín heterotrofných mikroorganizmov sa tieto látky rozkladajú a dusík pôvodne viazaný organicky sa premieňa na minerálnu formu prístupnú rastlinám, mobilizuje sa. Pojem mobilizácie a dostupnosti dusíka je teda nerozlučne spätý s procesmi mineralizácie jeho organických foriem. Podľa hlavného konečného produktu - amoniaku sa tento proces nazýva amonizácia. Mikroflóru, ktorá túto premenu uskutočňuje, nazývame amonizačnou mikroflórou.

Mineralizáciu v pôde riadia väčšinou huby a baktérie. Najvyššia intenzita mineralizácie je v pôdach s vysokým zastúpením mikroorganizmov (Števlíková, Kopčanová, 1994).

Aktívna mikroflóra zahŕňa druhy baktérií, aktinomycét a húb. V priebehu rozkladu sa jej zloženie mení. V aeróbnych podmienkach prvými kolonizátormi rastlinných zvyškov sú oligonitrofilné mikroorganizmy, ktoré sa uspokojujú s minimálnym množstvom dusíka, napr. druhy rodu *Pseudomonas*. Po znížení pomeru C : N nastupujú sporulujúce baktérie rodu *Bacillus*, mnohé aktinomycéty a huby s vyššími nárokmi na dusík. V anaeróbnych

podmienkach sa zúčastňujú rozkladu anaeróbne druhy rodu *Bacillus* (*B. putrificus*, *B. sporogenes*) (Javoreková et al., 2008).

Vzniknutý amoniak je prvá anorganická dusíkatá zlúčenina z rozkladu organickej hmoty. Tento sa môže ďalej rôznym spôsobom využívať, a to:

- biologickou oxidáciou (nitrifikáciou) sa mení na dusitany až dusičnany,
- prijímať vyššími rastlinami,
- viazať mikroorganizmami a využívať na ďalší rozklad organickej hmoty,
- fixovať do medzivrstvových priestorov sekundárnych ílových minerálov,
- môže podliehať volatilizácii, t.j. úniku z pôd do ovzdušia,
- viaže sa fyzikálno-chemickou sorpciou na pôdny sorpčný komplex (Fecenko, Ložek, 2000).

Hnojenie, vlastnosti pôdy, spôsob obrábania a poveternostné podmienky podmieňujú mikrobiálne procesy mineralizácie dusíka v pôde (Ondrišík, Urmínská, 2005).

Rýchlosť mineralizácie a uvoľňovanie dusíka závisí od pomeru C : N rozkladajúceho sa materiálu. Ak je tento pomer širší ako 20, amoniak sa neuvolňuje do prostredia a nehromadí sa, pretože ho mikroflóra zúčastnená na rozklade bezprostredne využíva na biosyntézu vlastnej plazmy. Do prostredia sa uvoľňuje veľké množstvo CO<sub>2</sub>, pretože procesy rozkladu niekoľkokrát prevyšujú syntézu bunkovej hmoty mikroorganizmov. Koeficient využitia uvoľnenej energie môže byť podľa podmienok prostredia a efektívnosti metabolizmu mikroflóry 20 až 40 %. Rozkladom organickej hmoty ubúda množstvo uhlíka (CO<sub>2</sub>) i jej celkové množstvo, ale dusík v pôde zostáva buď viazaný v živej plazme mikroorganizmov alebo po ich odumretí sa organické dusíkaté látky stávajú štruktúrnymi jednotkami molekúl humusových látok. Pomer C : N pôvodnej organickej hmoty sa postupne zužuje. Ak nadobudne hodnotu 10:1 mineralizácia je sprevádzaná uvoľňovaním amoniaku do prostredia (Javoreková et al., 2008).

Mineralizáciu je možné rozdeliť na chemickú a mikrobiologickú :

- chemická mineralizácia je rozklad organických látok chemickými zlúčeninami, ktoré vznikajú v pôde činnosťou mikroorganizmov, rastlín (koreňové výlučky) a látok dostávajúcich sa do pôdy antropogénnou činnosťou,

- mikrobiologická mineralizácia organického dusíka je determinovaná dvoma základnými parametrami – kvalitou rozkladajúcej sa organickej hmoty (C : N) a vitalitou mineralizačnej mikroflóry (Projekt EFA, 1998).

Amonizácia je univerzálny proces. Vďaka veľkej adaptačnej schopnosti amonizátorov prebieha vo veľmi rozdielnych stanovištiach i klimatických podmienkach,

no jej intenzita je rozdielna. Z hľadiska sprístupňovania dusíka rastlinám má najväčší význam amonizácia bielkovín a močoviny, ktorá sa vo väčšom množstve dostáva do pôdy vo forme priemyselného hnojiva. Okrem bielkovín a močoviny sú v pôde aj iné zlúčeniny. Sú to humusové látky napr. nukleoproteíny, kyselina močová a hipurová a i. Rýchlosť rozkladu bielkovín v pôde závisí od množstva proteínového materiálu prichádzajúceho do pôdy, ako aj od biochemickej činnosti amonizačných mikroorganizmov, ktorú ovplyvňujú faktory vonkajšieho prostredia (teplota, vlhkosť, pH) (Števlíková, 2006).

Mineralizácia pri hodnotách pH pod 5,5 je obmedzovaná, ale prebieha ešte dosť intenzívne, pretože väčšina húb je schopná uskutočňovať enzymatické procesy aj pri kyslej reakcii. Najpriaznivejšie podmienky pre príjem živín rastlinami sú pri teplote živného roztoku 18 – 20° C. Na príjem dusíka z pôdnej zásoby významne pôsobí teplota pôdy, ktorá podmieňuje intenzitu mineralizácie organických frakcií dusíka. Mineralizácia prebieha už pri teplote 0° C, teda aj v zimných mesiacoch. V letných mesiacoch pri zvyšovaní teploty pôdy až na 30° C prebieha mineralizácia mimoriadne intenzívne (Fecenko, Ložek, 2000).

Bielek (1998) uvádza, že v poľnohospodárskych pôdach Slovenska sa v priemere vyprodukuje od 90 do viac ako 200 kg N.ha<sup>-1</sup> za vegetačné obdobie (dusíkom nehnojené podmienky). A ročne sa v priemere zmineralizuje 1 až 3 % z celkového obsahu dusíka v pôde, čo predstavuje 25 až 150 kg N.ha<sup>-1</sup>.

### 1.5.3 Nitrifikácia

Nitrifikácia je súbor aeróbnych procesov, ktorými sa redukované formy N postupne oxidujú až na dusičnany. Preto je v mnohých pôdach a ekosystémoch veľmi dôležitá (transformácia nepohyblivej formy NH<sub>4</sub><sup>+</sup> na pohyblivú formu NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) (Števlíková, 2006).

Na oxidáciu 1 mg amónneho dusíka na dusitanový treba 3,43 mg O<sub>2</sub>, pri oxidácii dusitanov na dusičnany sa spotrebuje 1,14 mg O<sub>2</sub> (Bielek, 1998).

Amoniak, uvoľnený mineralizáciou organických dusíkatých látok do prostredia, podlieha biologickej oxidácii. Uskutočňujú ju chemoautotrofné i chemoheterotrofné mikroorganizmy, podľa čoho aj nitrifikáciu rozdeľujeme na:

- autotrofnú a
- heterotrofnú.

Väčšiu časť amónneho dusíka uvoľneného rozkladom organických dusíkatých látok odčerpajú rastliny a pôdne organizmy na syntézu vlastnej organickej hmoty. Určitá časť sa

viaže vo forme jednomocného kationu  $\text{NH}_4^+$  na ílovo-humusový sorpčný komplex pôdy, fixuje sa v pôdnych mineráloch alebo neutralizuje kyseliny v pôdnom roztoku. V dobre prevzdušených pôdach sa amoniak činnosťou nitrifikačnej mikroflóry oxiduje na dusičnany (nitrifikácia).

Nitrifikácia je striktne aeróbný proces, hoci nitrifikačné baktérie vzhľadom na veľkú adaptačnú schopnosť môžu existovať aj v menej aerovaných prostrediach, ale intenzita nitrifikácie potom klesá. Optimálna pôdna vlhkosť pre nitrifikačné baktérie a ich činnosť je 50-70 % plnej vodnej kapacity pôdy (PVK). S ubúdaním vody nitrifikácia klesá, ale baktérie si zachovávajú životnosť ešte ďalej, dokonca aj v úplne suchej pôde. S pribúdaním vody v pôde sa znižuje obsah kyslíka a intenzita nitrifikácie opäť klesá.

Okrem fyzikálneho zloženia prostredia, jeho pórovitosti a procesov výmeny iónov nitrifikačný proces výrazne ovplyvňuje reakcia prostredia. Najintenzívnejšia tvorba dusičnanov je v rozmedzí pH 6,0-9,0, avšak za predpokladu, že sú priaznivé aj ostatné faktory. V kyslejších pôdach s pH nižším ako 5,0 je nitrifikácia silne potlačená, pri pH 4 úplne prestáva. To znamená, že tento významný biologický proces aktívne prebieha v hnedozemiach, černozemiach, čierniciach, regozemiach a úrodných fluvizemiach.

Na dynamiku nitrifikácie počas roka vplyvajú aj výkyvy teploty. Jej rýchlosť klesá so znižujúcou sa teplotou. Úplne prestáva pri bode mrazu, pri 3 - 4° C sa už dá merať, ale optimum dosahuje pri 25 - 30 °C. Nad touto hranicou procesy slabnú a pri 45° C sa úplne zastavujú. Náročnosť nitrifikačných baktérií na teplotu prostredia závisí od ich ekologickej variability. V chladnejších pásmach sú prispôsobené nižším teplotám a opačne. V našich kultúrnych pôdach dosahuje produkcia dusičnanov maximum v mesiaci máj, keď sú vhodné nielen vlhkosť a teplotné podmienky, ale k dispozícii je aj dostatok iónov  $\text{NH}_4^+$  z mineralizácie organických dusíkatých látok pôdy alebo aplikovaných dusíkatých hnojív.

Nitrifikácia má veľký ekologický význam. Dusičnany sa v pôde neviažu na pôdny sorpčný komplex, sú dobre rozpustné vo vode. V pôde sa pohybujú jednak s pôdnym roztokom, jednak dobre difundujú v pôde, kde voda neprúdi. Pohyb dusičnanov v pôdnom profile má veľký význam pre dobré zásobovanie koreňov rastlín dusíkom, aj keď metabolické využitie dusičnanov v rastline je energeticky oveľa menej výhodné ako využitie amónnych iónov.

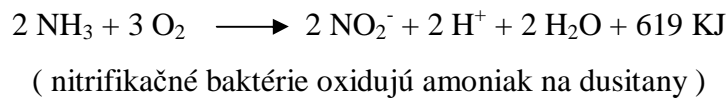
Dobrá nitrifikačná aktivita je znakom úrodných pôd (Javoreková et al., 2008).



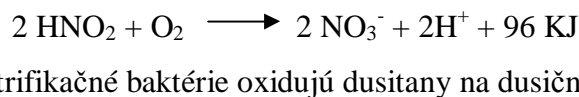
### 1.5.3.1 Autotrofná nitrifikácia

Ako uvádza Javoreková et al. (2008), autotrofná nitrifikácia má rozhodujúci podiel na oxidácii redukovaných anorganických zlúčenín dusíka. Prebieha v dvoch fázach:

1. fáza: nitritácia – účasť baktérií rodov: Nitrosomonas, Nitrosocystis, Nitrosospora, Nitrosoglea



2. fáza : nitratácia – účasť baktérií rodu: Nitrobacter



Podmienky pre nitrifikáciu:

- pH prostredia: úpravou pH, resp. vápnením sa podporuje aktivita nitrifikačných baktérií. Fecenko a Ložek ( 2000 ) uvádzajú rozpätie pH pre nitritáciu od 6,5 do 9,0 a pre nitratáciu od 5 do 7.

- pH > 7,6 - amoniak sa oxiduje rýchlo, dusitan pomalšie, 1. fáza prebieha rýchlo, 2. pomaly
- pH = 6,5 - amoniak aj dusitan sa rýchlo oxidujú, 1. aj 2. fáza prebiehajú rýchlo
- pH = 5,0 - amoniak sa pomaly oxiduje v dôsledku čoho sa aj vznikajúci dusitan pomaly oxiduje, 1. fáza prebieha pomaly a 2. fáza je ovplyvnená 1., t.j. tiež prebieha pomaly,
- pH < 5,0 - amoniak aj nitrát sa oxidujú veľmi pomaly, nitrifikácia je celkovo veľmi slabá

- teplota pôdy: rôzni autori uvádzajú rôzne optimálne teploty pre nitrifikáciu: 20 – 30° C ( Fecenko, Ložek, 2000 ), 25 – 30° C (Števlíková, Kopčanová, 1994; Števlíková, 2006),

- nad 45° C - nitrifikácia sa zastavuje,
- 20-30° C -je považované za optimálnu teplotu pre priebeh nitrifikácie,
- pod 5° C - nastáva výrazné zníženie intenzity nitrifikácie,
- 0° C - nitrifikácia prakticky neprebieha.

Na nízke teploty je citlivejšia nitratačná mikroflóra, t.j. 2. fáza nitrifikácie, ako nitrifikačné baktérie. To znamená, že na jar pri rozmŕzaní pôdy sa dočasne v pôde hromadia dusitany, lebo ich následná oxidácia na dusičnany je zabrzdená (Fecenko, Ložek, 2000).

- vlhkosť pôdy: percento plnej vodnej kapacity ( PVK ) považované za optimum pre priebeh nitrifikačných procesov je 50 – 70 % (Števlíková, Kopčanová, 1994; Fecenko, Ložek, 2000; Števlíková, 2006).

- nad 70 % PVK sa nitrifikačná činnosť znižuje pre nedostatok kyslíka v pôde pre oxidačné procesy,
- pri 3 % PVK sa nitrifikačné procesy zastavujú (Fecenko, Ložek, 2000).

- prevzdušenosť pôdy:

- optimum vyplýva z optimálnej vlhkosti pôdy, t.j. pomeru vody a vzduchu v pôde
- pri znížení podielu vzduchu v pôde je brzdená 2. fáza nitrifikácie, čiže v pôde sa hromadí dusitanový anión  $\text{NO}_2^-$ ,
- nitrobaktér je citlivejší na nedostatok vzduchu ako baktérie rodu *Nitrosomonas* a ďalšia nitrifikačná mikroflóra,
- z nitrifikačných reakcií jednoznačne vyplýva, že k ich optimálnemu priebehu je nutný molekulárny kyslík, čiže dostatočná prevzdušenosť pôd (Fecenko, Ložek, 2000).

Okrem prirodzených faktorov výskyt a činnosť nitrifikačných baktérií ovplyvňujú aj faktory antropogénne. Za najzávažnejší antropogénny faktor nitrifikácie a celkového dusíkatého režimu pôd treba považovať hnojenie dusíkatými priemyselnými hnojivami (Ondrišík, Urminská, 2005 ).

Ak je v pôde väčšie množstvo dusičnanov, ako môžu rastliny prijať, dostavuje sa ich mnohostranný negatívny účinok:

- a) znižuje sa agronomická a ekonomická efektívnosť využitia dusíka:
  - vyplavením a splavením dusičnanov do spodnej vody alebo vodných tokov,
  - unikaním dusíka z ekosystému denitrifikáciou,
- b) zhoršujú sa pôdne vlastnosti:
  - acidifikácia pôd vplyvom akumulácie dusičnanov v pôde,
  - zvýšenou mineralizáciou pôdnej organickej hmoty a nedodrzaním návratnosti organických látok do pôdy ubúda pôdny humus,
- c) zhoršujú sa niektoré zložky životného prostredia:
  - kontamináciou zdrojov pitnej vody,

- dusičnany spolu s fosforom sa dostávajú vodnou aj veternou eróziou do vodných tokov, nádrží pitných vôd, kde spôsobujú ich eutrofizáciu a znehodnotenie,
- niektoré rastliny sú schopné prijímať značné množstvo dusičnanov a hromadiť ich vo svojej biomase (Marendiak, 1987; Števlíková, Kopčanová, 1994; Števlíková, 2006).

### 1.5.3.2 Heterotrofná nitrifikácia

Heterotrofná nitrifikácia nie je tak rozšírená v pôde, ako autotrofná. Uskutočňujú ju chemoheterotrofné mikroorganizmy. Dokázaná bola pri viac ako 100 druhoch baktérií, aktinomycét a húb.

Tieto druhy patria k rodom *Achromobacter*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Proteus*, *Pseudomonas*, *Corynebacterium*, *Mycobacterium*, *Nocardia*, *Streptomyces*. Z húb sú to najmä rody *Candida*, *Cephalosporium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* a iné.

Predstavitelia heterotrofnej nitrifikácie môžu existovať aj pri anaeróbných podmienkach a nízkom pH. Môžu byť veľmi významní v prostrediach, kde nie sú prítomní autotrofní nitrifikátori alebo kde je ich aktivita potlačená. Substrátom pre heterotrofnú nitrifikáciu môžu byť anorganické redukované zlúčeniny dusíka (amoniak), ale aj organické (amíny, amidy). Pri oxidácii amoniaku nemusí prebehnúť kompletná nitrifikácia až na dusičnany. Tvorí sa hydroxylamín alebo až dusitany. Obe zlúčeniny sú chemicky nestále, veľmi reaktívne a toxické aj v malých koncentráciách. Produktami oxidácie organických dusíkatých zlúčenín, amidov a amínov sú deriváty hydroxylamínu, oxidy, aminooxidy, nitrozylúčeniny, nitrózozlúčeniny a iné (Števlíková, Kopčanová, 1994).

### 1.5.4 Imobilizácia

Asimiláciu minerálnych foriem dusíka mikroflórou a jeho ďalšie premeny až po zabudovanie do humusových látok nazývame imobilizácia (Števlíková, Kopčanová, 1994).

Imobilizácia dusíka je spôsobená jeho prijímaním rastlinami, pôdnymi mikroorganizmami, prípadne nebiologickým spôsobom zadržiavania dusíka (Projekt EFA, 1998).

Imobilizáciu dusíka vo veľkej miere ovplyvňujú aj faktory vonkajšieho prostredia, aerácia, vlhkosť, teplota, pH a iné, ktoré môžu vytvoriť priaznivé alebo nepriaznivé podmienky pre rast, rozmnožovanie a aktivitu pôdnej mikroflóry (Števlíková, 1995).

### Imobilizácia dusíka má veľký agroekologický význam:

- znižuje sa množstvo dusíka prístupného pre rastliny,
- imobilizovaný dusík je chránený pred vyplavením a vyprchávaním,
- imobilizácia  $N_{an}$  podporuje uchovanie vyššieho podielu uhlíkatých substrátov v pôde a zvyšuje koeficient humifikácie (Javoreková et al., 2008).

Bielek (1998) rozlišuje dva základné typy imobilizácie minerálneho dusíka v pôde:

- biologická imobilizácia,
- nebiologická imobilizácia.

Proces imobilizácie dusíka pozostáva z dvoch základných fáz:

- asimilácie minerálneho dusíka pôdnymi mikroorganizmami, pričom sa tvoria nové organické dusíkaté zlúčeniny (resyntéza),
- mineralizácie bielkovín a iných dusíkatých zlúčenín odumretej mikróbovej plazmy (remineralizácia), pričom sa produkty remineralizácie včleňujú do skladby pôdnej organickej hmoty.

Ľahko hydrolyzovateľné zlúčeniny (organické kyseliny, monosacharidy a pod.) mikroorganizmy rýchlo využívajú pre svoj rast a rozmnožovanie za súčasnej veľkej spotreby dusíka na resyntézu vlastných bielkovín. Ťažšie rozložiteľné substráty ako je lignín, keratín, ale najmä humus, poskytujú energetické a uhlíkaté zdroje na resyntézu bioplazmy pomalšie a v menšej miere. Tomu zodpovedá aj nižší stupeň asimilácie anorganického dusíka ( $N_{an}$ ) z pôdy.

Množstvo a rozložiteľnosť organických látok nie je jedinou podmienkou pre imobilizáciu  $N_{an}$ . Druhou podmienkou je nízky obsah dusíka v rozkladajúcom sa substráte, vyjadrený pomerom C : N. Čím je tento pomer širší, tým substrát poskytuje mikroorganizmom viac uhlíka a viac energie na asimiláciu minerálneho dusíka z prostredia. Hraničný obsah dusíka v organických látkach pre intenzívnu imobilizáciu je 1,5-2 %. S postupujúcim rozkladom sa pomer C : N zužuje, intenzita imobilizácie klesá.

Koreňové výlučky rastlín sú ľahko dostupným zdrojom uhlíka a energie, sú fyziologicky veľmi aktívne, a preto je aj väčšia imobilizácia počas života rastlín, najmä v rizosfére (2 - 4 krát vyššia ako na úhore). Pozberové zvyšky majú zložitejšiu chemickú skladbu a počas rozkladu sa nevyužívajú rovnomerne. Slama obilnín obsahuje veľké množstvo bezdusíkatých zlúčenín - celulózu, hemicelulózu, lignín a málo dusíka (0,3-0,5 %), pomer C : N je veľmi široký, a to 80-130:1. Po zaoraní slamy, resp. strniska sa vytvárajú podmienky na rozsiahlu imobilizáciu minerálneho dusíka. Naproti tomu, bôbovité rastliny s vyšším obsahom dusíka sú menej vhodným substrátom na imobilizáciu.

Práve naopak, minerálny dusík uvoľňovaný s postupujúcim rozkladom zostáva v prostredí a je k dispozícii pre následnú plodinu.

Po vyčerpaní zdrojov veľká časť mikroflóry odumiera a stáva sa súčasťou pôdnej organickej hmoty. Imobilizovaný dusík podlieha v pôde prakticky všetkým mechanizmom premien pôdneho organického dusíka. Najdôležitejšou aktivitou v jeho transformácii je mineralizácia. Ak ide o mineralizáciu imobilizovaného dusíka, potom je to v podstate jeho remineralizácia. Časť organického dusíka mikróbovej plazmy sa úplne remineralizuje až na amoniak, ktorý sa môže znovu biologicky využívať (reimobilizácia), ale vzniká aj celý rad veľmi zložitých produktov, odolných voči rozkladu. Tieto látky sa viažu s organickými produktami rozkladu rastlinných zvyškov, najmä lignínu (fenoly), polymerizujú, kondenzujú a postupne sa menia na nový druh pôdnej organickej hmoty - humus.

Imobilizáciu anorganického dusíka ( $N_{an}$ ) v nemalej miere ovplyvňujú aj faktory vonkajšieho prostredia, aerácia, vlhkosť, teplota, pH a iné, ktoré môžu vytvoriť priaznivé alebo nepriaznivé podmienky pre rast, rozmnožovanie a aktivitu pôdnej mikroflóry. Napr. v aeróbných podmienkach sa môže  $N_{an}$  imobilizovať 3 - 6 krát rýchlejšie ako v podmienkach s nedostatkom kyslíka.

Mineralizačno-imobilizačné vzťahy môžu byť v rovnováhe alebo jeden z nich môže prevládať. Existencia týchto vzťahov vytvára skutočnosť, že nie všetok dusík pochádzajúci z rozkladu organickej hmoty sa bude podieľať na dusíkovej výžive rastlín, ale aj tak je to v úrodných pôdach 70-80 %, na menej úrodných 50-60 % pôdneho N - podiel N na tvorbe výnosu (Javoreková et al., 2008).

#### **1.5.4.1 Biologická imobilizácia**

Prebieha ako proces asimilácie minerálneho dusíka, a to rastlinami a bohato zastúpenou pôdnou mikroflórou. Je to vlastne premena dusičnanového a amónneho dusíka na organický dusík a jeho zabudovanie do tel rastlín a mikroorganizmov (Bielek, 1998).

Biologická imobilizácia dusíka prebieha vo všetkých pôdach, ale jej rozsah je rozdielny. Priaznivé ekologické podmienky pre rozvoj mikroorganizmov (vlhkosť, teplota, aerácia, pH) zvyšujú imobilizáciu, pravda za predpokladu dostatku vhodných energetických zdrojov. Imobilizačné reakcie prebiehajú potom dostatočne rýchlo, ale remineralizácia pomaly a zdĺhavo (Javoreková et al., 2008).

Mikroorganizmy využívajú minerálny dusík na syntézu vlastných organických dusíkatých látok, najmä bielkovín. Vo svojej plazme môžu viazať 3-12 % dusíka. Na

imobilizáciu 1 molu  $\text{NH}_3$  je potrebná energia 272,14 kJ, na imobilizáciu  $\text{NO}_3^-$  5 až 8 krát viac, pretože dusičnanový dusík sa musí pred zabudovaním do organických zlúčenín najprv redukovať na  $\text{NH}_4^+$ . Imobilizácia  $\text{NH}_4^+$  prebieha 2 až 3 krát intenzívnejšie ako imobilizácia  $\text{NO}_3^-$  (Števlíková, Kopčanová, 1994; Števlíková, 2006).

Príjem amoniaku je pre rastlinu z energetického hľadiska výhodnejší ako príjem dusičnanov z dôvodu jeho priameho využitia pri biosyntéze aminokyselín a nutnosti pedsyntéznej redukcie dusičnanov, ktorých redukcia je výrazne závislá od intenzity svetla (Kováčik, 1992).

Konverzia dusičnanového dusíka na amoniak je dvojstupňovým procesom (Kováčik, 1992):

1.  $\text{NO}_3^- \longrightarrow \text{NO}_2^-$  spôsobovaný nitrátreduktázou
2.  $\text{NO}_2^- \longrightarrow \text{NH}_3$  spôsobovaný enzýmovým komplexom nitritreduktázy.

#### 1.5.4.2 Nebiologická imobilizácia

Nebiologická imobilizácia dusíka predstavuje neenzymatické mechanizmy väzieb a premien minerálneho (najmä amónneho) dusíka, ktoré prebiehajú tromi spôsobmi:

- fixáciou amoniaku na ílové minerály,
- fixáciou amoniaku na pôdnu organickú hmotu,
- inými fyzikálnymi a chemickými reakciami.

Podstatou neenzymatickej väzby amoniaku na ílové minerály je proces vniknutia a naviazania  $\text{NH}_4^+$  iónu do medzivrstvových priestorov kryštálovej mriežky ílových minerálov. Predpokladá sa dynamická rovnováha medzi rozpustným, vymeniteľným a fixovaným  $\text{NH}_4^+$  v pôdnom roztoku (Bielek, 1998).

Z ílových minerálov fixujúcich  $\text{NH}_4^+$  sú to monmorillonit, illit a vermiculit. Fixácia sa uplatňuje viac v podornici ako v ornici (Bízik, 1990).

Popri ílových mineráloch môže fixačne pôsobiť aj pôdna organická hmota. Podstatou je schopnosť niektorých pôdných organických látok viazať voľný amoniak na formu relatívne rezistentnú voči rozkladu. Pri procese fixácie môže mať význam pH prostredia. Dokázalo sa, že proces neprebíha pod  $\text{pH} = 7$ , viaže sa teda na alkalické prostredie. Chemicky sa môžu v pôde fixovať aj anorganické soli amoniaku, dusitanov a dusičnanov (Bielek, 1998).

## 1.6 Straty dusíka

Straty dusíka majú za úlohu vyrovnávať bilancie obsahov dusíka medzi pôdou a ostatnými zložkami prírodného prostredia (najmä atmosférou, hydrosférou a biosférou). Môžu vyvolávať aj negatívne vplyvy (ekonomické, ekologické, zdravotné) (Bielek, 1998).

Torma (2005) uvádza, že straty dusíka z pôdy predstavujú vysoké hodnoty a dosahujú rôznu výšku, plynné straty 30 – 40 kg, vyplavovanie 7 – 10 kg, erózia pôdy 5 – 10 kg a odber dusíka rastlinami (v závislosti na výnose) 60 – 70 kg.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup>.

K stratám dusíka z pôdy dochádza cez kvapalnú a plynnú fázu (Fecenko, Ložek, 2000):

- vyparovaním (volatilizácia),
- denitrifikáciou,
- vyplavovaním,
- eróziou,
- využitím rastlinami (efektívne straty N z pôdy).

Straty dusíka cez plynnú fázu sú v priemere vyššie ako v kvapalnej fáze. Je to spôsobené tým, že zlúčeniny dusíka sú reaktívne, ľahko sa oxidujú alebo redukujú biologickou cestou. Straty v plynnej forme môžu predstavovať až 30 % z dodaných dusíkatých hnojív (Fecenko, Ložek, 2000).

### 1.6.1 Volatilizácia

Sú to plynné straty dusíka z pôdy, ktoré vznikajú ako dôsledok volatilizácie amoniaku a denitrifikácie. Amoniak je prakticky nepretržite tvorený v pôde mechanizmami biologického odbúravania pôdnej organickej hmoty, ale pochádza aj z aplikovaných hnojív (organických, minerálnych) (Bielek, 1998).

Faktory ovplyvňujúce volatilizáciu amoniaku z pôdy sú pH, teplota pôdy, pufračná kapacita pôdy a kationovýmenná kapacita pôdy, intenzita ureáznej aktivity, pôdna textúra, nitrifikačná aktivita, forma, dávka a spôsob aplikácie dusíkatého hnojiva, klimatické podmienky, ako aj prítomnosť rastlín (Ondrišík, 1998).

Priemerné straty dusíka volatilizáciou sú na úrovni 9-15 kg N.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup>, pričom na nehnojených pôdach je to 9-10 kg N.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup> a na hnojených 10-15 kg N.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup> za rok (Bielek 1997).

Volatilizácia amoniaku sa vyskytuje najmä pri aplikácii vyšších dávok dusíkatých hnojív, najmä s amidickou a amónnou formou dusíka. Z týchto hnojív môže volatilizáciou

amoniaku uniknúť 5-25 % dusíka. Pri liadkových (dusičnanových) formách dusíkatých hnojív je intenzita volatilizácie minimálna (Fecenko, Ložek, 2000).

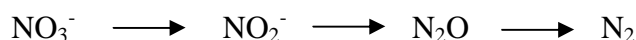
Volatilizácia amoniaku sa uskutočňuje predovšetkým z povrchu alkalických pôd (Bízik, Fecenko, 1996):



### 1.6.2 Denitrifikácia

Denitrifikáciou označujeme procesy, pri ktorých nastáva redukcia dusičnanov na zlúčeniny nižšieho oxidačného stupňa. Konečnými produktami sú NO, N<sub>2</sub>O a najmä N<sub>2</sub>. Z agronomického hľadiska denitrifikácia predstavuje straty, znižujúce využiteľnosť pôdneho a hnojivového dusíka (Števlíková, Kopčanová, 1994).

Podľa Fecenka a Ložeka (2000) možno mechanizmus denitrifikácie zjednodušene znázorniť touto postupnosťou:



Poznáme dva hlavné spôsoby denitrifikácie:

- priama denitrifikácia (priama redukcia dusičnanov), ktorá sa uskutočňuje výlučne biologickými enzymatickými mechanizmami a rozdeľuje sa na:
  - a) špecifickú denitrifikáciu a
  - b) nešpecifickú denitrifikáciu,
- nepriama denitrifikácia (chemodenitrifikácia), ktorá prebieha chemickými reakciami.

Na jednej strane má denitrifikácia negatívny ekonomický, ale i ekologický dopad, ale na druhej strane sa denitrifikačné procesy javia aj biologicky nevyhnutnými, pretože umožňujú odstránenie nadbytku dusičnanov z pôdy a vodojemov, a tým znižujú úroveň dusičnanového zaťaženia prírodných vôd (Ondrišík, 1998).

Svetové straty dusíka denitrifikáciou sú na úrovni 46 kg N.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup> a v podmienkach Slovenska je to 20 – 25 kg N.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup> (Bielek, 1997).

Predpokladá sa, že únik dusíka z pevniny a oceánov dosahuje hodnotu 170. 10<sup>6</sup> ton ročne. Redukciu dusičnanov uskutočňujú fakultatívne anaeróbne baktérie, ktoré pri dýchaní v anaeróbných podmienkach využívajú dusičnanový kyslík ako konečný akceptor vodíka. Pri týchto reakciách sa dusičnany redukujú na plynné zlúčeniny:





Schopnosť redukovať dusičnany majú niektoré druhy rodov *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Micrococcus*. Ako zdroj uhlíka a energie využívajú organické látky, sú teda heterotrofné. Výnimku tvorí *Acidithiobacillus denitrificans* - chemolitotrofná baktéria redukujúca dusičnany za súčasnej oxidácie síry.

Rozsah denitrifikácie podmieňuje v prvom rade prítomnosť dusičnanov, dostatok energetických uhlíkatých zdrojov a nedostatočná aerácia prostredia. Denitrifikačné baktérie využívajú široké spektrum organických látok - koreňové výlučky, odumretý rastlinný materiál i ľahkorozložiteľné zložky fulvokyselín. Pri nízkom parciálnom tlaku atmosférického kyslíka v prostredí odoberajú kyslík na ich oxidáciu dusičnanom a dusitanom. Pri nasýtení pôdy na plnú vodnú kapacitu sa intenzita denitrifikácie zvyšuje. Tento redukčný proces prebieha v štruktúrnych pôdach aj pri nižšom obsahu vody a vyššom celkovom prevzdušnení. V pôde sú totiž vždy mikrolokality, ktoré majú dostatok kyslíka a také, ktorým kyslík úplne chýba. Kyslík odčerpávajú mikroorganizmy (pri rozklade mŕtveho organického materiálu) a korene živých rastlín. V rizosfére je spotreba kyslíka väčšia a rýchlejšia, preto sa vytvárajú vhodné podmienky pre denitrifikáciu skôr ako v ostatnej pôde. Navyše, výlučky rastlín poskytujú bezprostredne denitrifikačným baktériám ľahko prijateľný zdroj uhlíka a energie. Na druhej strane môžu rastliny tvorbou koreňového systému mechanicky podporiť pórovitosť pôdy a odčerpávaním vody z pórov urýchliť difúziu kyslíka. Týmto sa intenzita denitrifikácie zase znižuje. Pozitívny a negatívny vplyv koreňov na denitrifikáciu môže byť vyvážený alebo jeden z nich prevláda. Z agronomického hľadiska to znamená zvýšenie alebo zníženie strát dusíka.

Ďalším dôležitým faktorom, ovplyvňujúcim denitrifikáciu, je reakcia pôdy. Optimálne hodnoty pH pre denitrifikačné baktérie sú 7,0 - 8,5, okysľovanie pôd ich aktivitu znižuje. V kyslých pôdach však nastupuje abiologická denitrifikácia - chemodenitrifikácia. Základným predpokladom chemodenitrifikácie je prítomnosť dusitanov a ich chemické reakcie s inými anorganickými a organickými látkami (amoniak, močovina,  $\alpha$ -aminokyseliny, fenoly, lignín, humínové kyseliny). Dusitany vznikajú v pôde ako medziprodukt biologických procesov nitrifikácie a denitrifikácie. Dusitany sa však v pôde vo väčšej miere nehromadia, preto aj chemodenitrifikácia nemá vyššiu intenzitu.

Denitrifikačné procesy sa označujú za rozhodujúce mechanizmy strát dusíka z pôdy do atmosféry, preto sa im pripisuje negatívna úloha. Treba si však uvedomiť, že môžu pri bilancii dusíka plniť aj pozitívnu funkciu. Do veľkého kolobehu dusíka vracajú plynný  $N_2$ , ktorý sa môže opäť biologickou alebo chemickou cestou viazať. Na druhej strane v hlbších vrstvách pôdy redukciou dusičnanov sa čiastočne znižuje možnosť kontaminácie

podzemných vôd. Táto skutočnosť sa vedome využíva pri čistení odpadových vôd aplikáciou denitrifikačných baktérií (Javoreková et al., 2008).

### 1.6.2.1 Priama denitrifikácia

Priamou biologickou denitrifikáciou sa môžu dusičnany redukovať buď na oxid dusný ( $N_2O$ ) alebo elementárny dusík ( $N_2$ ). Redukčné procesy prebiehajú pri nedostatku kyslíka a straty dusíka sú tým väčšie, čím je väčší deficit kyslíka v pôde. Z toho vyplýva, že prísunom vzduchu do pôdy môžeme znížiť straty dusíka v plynnej forme. Či budú straty vo forme  $N_2O$  alebo  $N_2$ , závisí od hodnoty pH prostredia. V oblasti pH 4,9 – 5,6 sa straty uskutočňujú vo forme  $N_2O$  a v oblasti pH 7,3 – 7,9 vo forme  $N_2$  (Fecenko, Ložek, 2000).

Priama biologická denitrifikácia sa uskutočňuje enzymatickými mechanizmami mikroorganizmov rodu *Pseudomonas* a *Micrococcus*.

Podľa súčasných poznatkov najväčšie straty dusíka v plynnej forme vznikajú pri priamej biologickej denitrifikácii (Fecenko, Ložek, 2000).

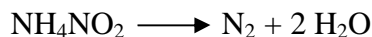
Špecifická denitrifikácia redukuje oxidované minerálne látky s konečnou produkciou oxidov dusíka ( $NO$ ,  $NO_2$ ,  $N_2O$ ) a tiež molekulárneho dusíka ( $N_2$ ).

Mechanizmy nešpecifickej denitrifikácie redukujú minerálny dusík na amoniak, ktorý sa následne zabudováva do proteínových štruktúr denitrifikujúceho organizmu, čo v podstate predstavuje bežný proces asimilácie dusíka živým organizmom – vyššie rastliny, baktérie, huby, aktinomycéty, (Hanes, Čurlík 1999; Zaujec, 2002).

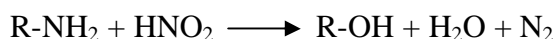
### 1.6.2.2 Nepriama denitrifikácia

Prebieha len na základe chemických reakcií (Fecenko, Ložek, 2000):

- dusitany sa priamo rozkladajú na elementárny dusík a vodu,



- kyselina dusitá reaguje s aminokyselinami, pričom vzniká  $N_2$ ,



- čiastočný rozklad kyseliny dusitej za vzniku oxidov dusíka



Chemodenitrifikácia sa vyskytuje v kyslých pôdach. Dochádza pri nej k tvorbe plyných foriem dusíka chemickými reakciami. Ústrednú úlohu tu majú dusitany. Dusitany sa môžu samostatne chemicky redukovať alebo reagovať s organickými látkami (amoniak, močovina,  $\alpha$ -aminokyseliny, fenoly, lignín, humínové kyseliny) alebo niektorými kovmi

a produkovať oxidy dusíka. Dusitany sa však v pôde vo väčšej miere nehromadia, preto aj chemodenitrifikácia nemá vyššiu intenzitu. Má len 5-10%-ný podiel na celkovom množstve plynných strát dusíka z pôdy (Projekt EFA, 1998).

### 1.6.3 Vyplavovanie dusíka z pôdy

Straty dusíka cez kvapalnú fázu sú podmienené dobrou rozpustnosťou dusíkatých hnojív, pomerne rýchlou oxidáciou  $\text{NH}_4^+$  iónu na dusičnany a dobrou pohyblivosťou  $\text{NO}_3^-$  aniónu v pôde.

Pri nadbytku vody v pôde (intenzívne atmosférické zrážky alebo nadmerná závlaha) sa pôdny roztok a s ním aj rozpustené látky posúvajú pod koreňový systém rastlín, čím sa znižuje účinnosť a efektívnosť hnojenia, pri súčasnom raste potenciálneho ohrozenia životného prostredia. Ak sú podmienky pre pohyb pôdneho roztoku vertikálnym smerom a podorničie je dobre priepustné (je tvorené štrkom alebo pieskom), prípadne v pôdnom profile vystupuje vysoko podzemná voda, vznikajú predpoklady pre jeho intenzívne vyplavovanie. Ak sú podmienky pre horizontálny pohyb pôdneho roztoku, napr. na sklonených pozemkoch po výdatných zrážkach, dochádza k povrchovému splavovaniu dusičnanov do vodných tokov.

Intenzita vyplavovania dusičnanov závisí od: pôdneho druhu, pestovanej plodiny, hnojenia minerálnym a organickým dusíkom, závlahy, sústavy hospodárenia, obrábania pôdy a priebehu poveternostných podmienok v danom období (Fecenko, Ložek, 2000).

Dusičnany sa najintenzívnejšie vyplavujú koncom zimy, v predjarí (Bízik, 1990) a jarnom období, keď je pôda bez vegetačného krytu (Fecenko, Ložek, 2000).

Priemerné hodnoty vyplaveného dusičnanového dusíka sa pohybujú od 5 do 55  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  N za 1 rok.

Z bilancovania straty dusíka cez kvapalnú fázu vyplýva, že z celkovej straty dusičnanová forma predstavuje 90-97 %, amónna forma dusíka predstavuje 0,5-3,0 % a zvyšok tvoria ostatné rozpustné dusíkaté zlúčeniny (Fecenko, Ložek, 2000).

Podľa Tlustoša et al. (1999) vyplavovaný dusičnan je potrebné vnímať nielen ako znečistenie životného prostredia, ale i ekonomickú stratu. Je preto potrebné rešpektovať tieto zásady:

- maximálne obmedziť aplikáciu N – hnojív na jeseň s výnimkou arídnejších oblastí a pôd s hlbokým orničným profilom,
- skôr vysievať oziminy,

- pestovať medziplodiny,
- obmedziť skorú jesennú aplikáciu organických hnojív, najmä močovky,
- podľa možností zaorávať slamu.

#### 1.6.4 Straty dusíka eróziou

Odnos dusíka môže byť spojený aj s eróziou. Straty dusíka touto cestou môžu byť väčšie ako je jeho input. Veľké straty vodnou eróziou môžu nastať vtedy, keď sa zmyv dostaví tesne po povrchovej aplikácii N hnojív (Bielek, 1998).

Reálne je na Slovensku vodnou eróziou ohrozovaných 576 tis. ha orných pôd. Veternou eróziou trpí 390 tis. ha orných pôd (z toho asi 28 tisíc ha silnou). Priemerný ročný odnos pôdy vodnou eróziou sa odhaduje asi na 2,8 - 3 mil. ton (Noskovič, Ondrišík, 2003).

Ročné straty dusíka vodnou eróziou môžu predstavovať od  $0,05 \text{ g.m}^{-2}.\text{rok}^{-1}$  do  $1,25 \text{ g.m}^{-2}.\text{rok}^{-1}$ , čo v prepočte na 1 ha predstavuje priemerne ročne asi  $6,2 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{rok}^{-1}$  (Bielek, 1998).

Intenzita vodnej a veternej erózie je významne obmedzovaná rastlinným krytom, dobrou priepustnosťou pôd, vysokou retenčnou kapacitou pôd, ale aj všetkými známymi spôsobmi protieróznej ochrany pôdy. Každé obmedzenie erózie pôdy je súčasne obmedzením strát dusíka z pôdneho prostredia. Každé zníženie intenzity erózie je súčasne zvýšením efektívnosti pôdneho a hnojivového dusíka v produkčných (ale aj iných) funkciách pôdneho krytu. Preto je protierózna ochrana jednou z najdôležitejších úloh pri ochrane pôdy (Noskovič, Ondrišík, 2003).

Každé zníženie intenzity erózie je súčasne zvýšením efektívnosti pôdneho a hnojivového dusíka v produkčných funkciách pôdneho krytu. Preto je protierózna ochrana jednou z najdôležitejších úloh pri ochrane pôdy a to najmä v oblastiach so zvlneným terénom (Bielek, 1998).

#### 1.6.5 Využívanie dusíka rastlinami

Formy  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{NH}_4^+$  predstavujú pre rastliny základnú dusíkatú výživu. V roku 1928 Prianišnikov zistil, že za určitých podmienok môže byť účinnosť amónnych solí rovnaká alebo vyššia ako účinnosť dusičnanov, čím vyvrátil názor, že amoniakový dusík je horším zdrojom dusíka pre rastliny, ako dusičnanový. O efektívnosti využitia jedného alebo

druhého zdroja dusíka rastlinami rozhoduje celý rad faktorov, napr. pôdna reakcia, teplota pôdy, vlhkosť a prevzdušnosť pôdy, samotná rastlina a pod.

Príjem  $\text{NO}_3^-$  aniónov prevláda najmä v kyslom prostredí a príjem  $\text{NH}_4^+$  katiónov môže byť vyšší v neutrálnom a zásaditom prostredí. Pri pH 6,8 nie je takmer žiaden rozdiel v prijímaní iónov  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{NH}_4^+$ , zatiaľ čo pri pH 4,0 je výrazne väčší príjem dusičnanového iónu oproti amónnemu iónu. Príjem  $\text{NO}_3^-$  iónov so zvýšením počiatočnej hodnoty pH sa znižuje a príjem  $\text{NH}_4^+$  iónov sa zvyšuje. Prevzdušnosť pôdy podporuje príjem  $\text{NH}_4^+$  katiónov a nemá výrazný vplyv na príjem  $\text{NO}_3^-$  aniónov.

Väčšine kultúrnych plodín vyhovuje hodnota pH 6 - 7. Tento interval pH súčasne najlepšie zodpovedá požiadavkám uvoľňovania živín z pôdnych zásob a ich udržiavaniu v prístupných formách. Jednotlivé plodiny môžu pomerne dobre produkovať úrody aj pri širokom rozpätí hodnôt pH.

Nižšia teplota má za následok pokles príjmu  $\text{NO}_3^-$  a naopak stimuluje príjem  $\text{NH}_4^+$ . Zdôvodňuje sa to tým, že pri nízkych teplotách je znížená redukcia nitrátov v rastline, zatiaľ čo pri dostatku sacharidov je zabudovanie  $\text{NH}_4^+$  katiónov do organických zlúčenín z amónnych hnojív intenzívnejšie, ako pri dusičnanej výžive (Fecenko, Ložek, 2000).

Rastliny, ktoré sú odkázané na príjem anorganických foriem dusíka ( $\text{NO}_3^-$  a  $\text{NH}_4^+$ ) z pôdneho roztoku odčerpávajú približne 0,4 - 5 % celkového N v pôde, čo sa pohybuje v rozmedzí 20-100 kg N.ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup> (Rajchard, 2002).

Ak rastlina prijíma  $\text{NH}_4^+$  ión, tento po zabudovaní do neutrálnej organickej molekuly spôsobuje oxysľovací efekt:



Vzniknuté  $\text{H}^+$  ióny môžu zostávať v rastlinných pletivách, alebo sú vylučované do prostredia, čím ho okysľujú.

V prípade, že rastlina prijme  $\text{NO}_3^-$  ión, vzniká alkalický efekt:



Vzniknuté  $\text{OH}^-$  ióny pri redukcii dusičnanov zostávajú v rastline, resp. časť z nich môže byť prevedená do pôdneho prostredia vo forme  $\text{HCO}_3^-$  a tým zvyšuje hodnotu pH (alkalizuje prostredie) (Fecenko, Ložek, 2000).

Základnou podstatou potreby hnojenia pôd dusíkom je Liebigov zákon minima, podľa ktorého platí, že úroda sa zastaví na úrovni dusíka, nachádzajúceho sa v minime. Pretože dusík je najúčinnjším tvorcom úrody, musí byť snaha, aby práve on nebol v minime, t.j. nebol príčinou nevyužívania prípadného vyššieho potenciálu ostatných živín v pôde, alebo iných úrodotvorných faktorov (Bielek, 1998).

Najvyššia účinnosť hnojenia dusíkom je pred začiatkom intenzívneho príjmu živín porastom. Účinnosť dusíkatého hnojiva závisí od pôdnych podmienok, druhu porastu a zásoby živín v pôde. Pri hnojení je nutné rešpektovať rozdiely medzi plodinami a tiež obsahom prijateľných foriem dusíka v pôde. Z ekonomického pohľadu sa zdá efektívnejšia aplikácia stredných než vyšších dávok dusíka (Bízík et al., 1998).

Extrémna výživa len jednou alebo druhou formou dusíka môže preto vyvolať rozdiely v iónovej rovnováhe tak v rastlinách, ako aj v pôde a tým ovplyvniť príjem ďalších živín, priebeh základných metabolických procesov a kvalitu produkcie. Priaznivý efekt sa dosahuje pri hnojení kombináciou oboch foriem dusíka. V tomto prípade je úroda vyššia ako pri rovnakej dávke dusíka aplikovaného len v jednej forme (Fecenko, Ložek, 2000).

## 1.7 Vplyv agrotechnických zásahov na dynamiku dusíka v pôde

Obrábaním pôdy sa nazývajú všetky operácie, pomocou ktorých sa mechanickým spôsobom menia vlastnosti orníčnej vrstvy pôdy alebo rizosféry. Pri obrábaní pôdy sa vždy bezprostredne mení vnútorná stavba pôdy, jej pórovitosť, objemová hmotnosť, štruktúra a i., ktoré podstatne ovplyvňujú termodynamické vlastnosti, fyzikálne, chemické a biologické procesy v pôde a pôdne režimy (Ciglar et al., 1997).

Cieľom obrábania pôdy je v prvom rade zlepšenie cirkulácie vzduchu a prevlhčenie ornice, s čím sú vždy spojené silné zmeny vo fyzike a chemizme pôdy (Števlíková, Kopčanová, 1994).

Zmeny v obsahu a formách dusíka v pôde závisia nielen od hnojenia, ale aj od vlastností pôdy, spôsobu obrábania a poveternostných podmienok, ktoré podmieňujú mikrobiálne procesy mineralizácie a imobilizácie dusíka v pôde (Ondrišík, Urminská, 2005).

Ako uvádza Němeček pre väčšinu pôd je prirodzené, že so zväčšujúcou sa hĺbkou pôdy v rámci orníčného horizontu dochádza k vzostupu obsahu amónneho dusíka a k poklesu obsahu dusičnanového dusíka (Ňaršanská, 2009).

Množstvo  $N_{an}$  v pôde determinujú pôdne a klimatické podmienky, vegetačný kryt, spôsob exploatácie pôdy, aplikácia priamych a nepriamych hnojív, resp. celá antropogénna činnosť vplývajúca na intenzitu uvoľňovania a viazania anorganického dusíka z a do organických zlúčenín (Ondrišík, Urminská, 2005).

Obrábaním pôdy sa pomerne intenzívne ovplyvňuje činnosť mikroorganizmov, ktoré sa podieľajú na premenách dusíka v pôde. Sú to predovšetkým nitrifikačné baktérie rozkladajúce bielkoviny. Pri intenzívnejšom a hlbšom kyprení sa v pôde tvorí oveľa viac nitrátov ako na neobrobenej pôde alebo na pôde obrobenej len plytko (Kollár, 1992).

Spôsob obrábania pôdy prostredníctvom rozdielnych aeračných podmienok ovplyvňuje mineralizačné a nitrifikačné procesy (Šimek, 2000).

Intenzívnejšia kultivácia kladne ovplyvňuje mineralizáciu organických látok v pôde. Hlbšia orba, v porovnaní s plytkou, zvyšuje biologickú aktivitu pôdy, a tým aj procesy uvoľňovania anorganického dusíka do pôdneho profilu.

Vplyv obrábania pôdy vystupuje v interakčných vzťahoch s poveternostnými podmienkami, ktoré môžu viac-menej zastierať až eliminovať agrotechnické vplyvy na amonizáciu a nitrifikáciu. Dá sa predpokladať, že na ťažších pôdach vplyv agrotechniky cez prevzdušňovanie pôd bude ovplyvňovať procesy mineralizácie a nitrifikácie výraznejšie ako na pôdach ľahších. V dôsledku zvýšenej aerácie pôd sa hladina celkového dusíka v pôde znižuje (Demo, 1990).

Podľa Ondriška (2001), najvýznamnejší vplyv na hladinu anorganického dusíka v pôde v interakcii s ostatnými faktormi a agrotechnickými zásahmi mali klimatické podmienky v priebehu pokusných rokov. Zpracovanie pozberových zvyškov a kôrovia sa prejavilo miernym znížením jednotlivých frakcií anorganického dusíka a rozdielne spracovanie pôdy nepôsobilo na zmeny obsahu  $N_{an}$ .

## **1.8 Vplyv hnojenia na dynamiku dusíka v pôde**

Otázky dusíkatej výživy v teoretickej a praktickej polohe boli detailne analyzované D. N. Prianišnikovom už v roku 1945. V ostatnej dobe nahromadený rozsiahly experimentálny materiál s použitím moderných metód a techník v podstate iba potvrdil správnosť záverov Prianišnikova o významnom pôsobení dusíka na kvalitu rastlinnej produkcie. Prvé názory na dusík vychádzali zo stanoviska, že dusík je inertný plyn "neschopný života" (Michalík, 2001).

Zmeny obsahu dusíka, jeho foriem a dynamiky v pôde závisia nielen od jeho množstva aplikovaného organickými a priemyselnými hnojivami, ale aj od pôdno-klimatických podmienok, ktoré výrazne podmieňujú priebeh mikrobiálnych procesov mineralizácie a imobilizácie dusíka v pôde. Obsah anorganického dusíka v pôde je veľmi dynamický a každá zmena vlastností prostredia môže viesť k zmenám jeho obsahu (Ondrišek, 2002).

V kvalitných pôdach (nehnojených dusíkom) predstavujú dusičnany priemerne 40-50%-ný podiel na celkovom minerálnom dusíku. V málo úrodných pôdach je tento podiel len 10-20 %. Pri hnojení dusíkom sa zastúpenie dusičnanov v málo úrodných pôdach môže zvýšiť na 40-50 % (v minerálnom dusíku), v kvalitných pôdach intenzívne hnojených dusíkom to môže byť až 90 % (Bielek, 1998).

Dusík z pôdy a hnojív patrí k rozhodujúcim faktorom stability i kvality úrod. Avšak nepriaznivo môže pôsobiť ako jeho nedostatok tak aj nadbytok ( Jamriška, 2005 ).

Obohacovanie pôdy o dusík hnojením dusíkatými hnojivami v harmonickom pomere s ďalšími živinami je základom vysokých úrod dobrej kvality. Efektívne využívanie dusíka rastlinami pri tvorbe úrody závisí od časovej synchronizácie hnojenia s potrebou dusíka rastlín. Najväčšie riziká z prehnojenia dusíkom sú negatívne ekologické vplyvy či už priamo na vlastnostiach pôdy alebo sprostredkované na iných zložkách životného prostredia so zvláštnym zreteľom na zdravotné nebezpečenstvá dusičnanových foriem dusíka (Hronec, 2003).

Dávkovanie dusíka k jednotlivým plodinám pochopiteľne musí rešpektovať ich nároky na dusík z hľadiska doby aplikácie ako i formovania požadovaných parametrov kvality. V tejto súvislosti pri ozimných plodinách, najmä pšenici, by sme mali z hľadiska rozdelenia dávok počas vegetácie uplatniť následovné návrhy: Pri zásobe  $N_{an}$  pred sejbou okolo  $10 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ N}$  v hĺbke 0,0 - 0,3 m je možné vynechať predsejbové hnojenie dusíkom. Rastliny pri nižšej hladine N v pôde vytvárajú bohatší koreňový systém, čo podporuje lepšie prezimovanie a súčasne sa využívajú akumulované zdroje dusíka z pôdnej zásoby. Regeneračné hnojenie sa odporúča aj bez rozboru pôdy, keďže prístupný dusík býva posunutý a po zime oslabený porast ho nutne potrebuje. Rozbor pôdy sa racionálne využije pred predĺžovacou fázou a zistený obsah  $N_{an}$  je potrebné upraviť hnojením na hodnotu okolo  $15 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ N}$ . (Vidovič, 2005).

Z hľadiska správneho hnojenia pôdy je dôležité poznať Nitrátovú direktívu, ktorá presne určuje povinnosti pri zabezpečovaní ochrany vodných zdrojov pred znečistením dusičnanmi z poľnohospodárskej činnosti. Pojednáva o povrchových a podzemných vodách, definuje kritériá pre identifikovanie tzv. zraniteľných oblastí, zahŕňa otázku implementácie kódexu správnej poľnohospodárskej praxe, uvádza metodické pokyny na monitorovanie ochrany vôd a má dva hlavné ciele: znížiť znečistenie vôd spôsobené alebo vyvolané dusičnanmi z poľnohospodárskych zdrojov a zabrániť ďalšiemu znečisťovaniu. Nitrátová smernica bola na Slovensku plne transponovaná do zákona NR SR 184/2002



o vodách, ktorý bol prijatý 19.2.2002 a nadobudol účinnosť 1.6.2002. (Klimeková, Lehocká, 2004)

Priame negatívne dôsledky z prehnojenia dusíkom sa prejavujú na pôdnych vlastnostiach nepriamo acidifikáciou pôd, narušením harmonického pomeru živín, zhoršovaním štruktúry pôdy, fyzikálnou, chemickou a biologickou degradáciou pôd, zmenami v obsahu a kvalite organickej hmoty atď. (Hronec, 2003).

Podľa Ondříška (2002) bilančné hnojenie dusíkatými hnojivami preukazne nezvyšuje obsah anorganického dusíka v pôde, a tým znižuje aj jeho možné straty z pôdneho profilu.

V súčasnej dobe je už dobre známe, že používanie priemyselných hnojív pri nedostatočnej zásobe organickej hmoty v pôdach je málo efektívne a môže mať negatívny vplyv na výšku úrod, zhoršenie stavu pôdnych agregátov, čiže na zhoršenie chemických a fyzikálnych vlastností pôd (Smatana et al., 2001).

## 2 CIEĽ PRÁCE

Cieľom predloženej diplomovej práce, vypracovanej na Katedre environmentalistiky a zoológie Slovenskej poľnohospodárskej Univerzity v Nitre, bolo zhrnúť poznatky o dynamike anorganického dusíka v pôde a jednotlivých faktoroch vplyvujúcich na jeho zmeny a zanalyzovať obsah dusičnanového a amónneho dusíka v pôdnych vzorkách a stanoviť v nich obsah anorganického dusíka.

Ciele možno zhrnúť nasledovne:

1. posúdiť vplyv rôznych spôsobov základného obrábania pôdy (stredne hlboká orba a tanierovanie) a porovnať tak vplyv konvenčnej a minimalizačnej technológie obrábania pôdy na zmeny obsahu amónneho ( $\text{N-NH}_4^+$ ), dusičnanového ( $\text{N-NO}_3^-$ ) a anorganického ( $\text{N}_{\text{an}}$ ) dusíka v pôde, s ohľadom na zabezpečenie optimalizácie materiálno-technických vstupov pri pestovaní pšenice letnej f. ozimnej;
2. posúdiť vplyv rôznych variantov hnojenia (nehnojený variant, variant s priemyselným hnojením a variant s priemyselným hnojením so zapracovaním pozberových zvyškov predplodiny) na zmeny obsahov sledovaných foriem anorganického dusíka, s ohľadom na zabezpečenie dostatočnej dusíkatej výživy pestovanej plodiny pri dodržaní ekologicky únosných množstiev dusíka vyplývajúcich z Nitrátovej smernice;
3. posúdiť vplyv pestovateľského ročníka, termínu odberu a hĺbky odberu pôdnych vzoriek na zmeny obsahu sledovaných foriem anorganického dusíka ( $\text{N}_{\text{an}}$ ) v pôde;
4. štatistická analýza spolupôsobenia vplyvu rôznych spôsobov základného obrábania pôdy a variantov hnojenia na zmeny obsahu sledovaných foriem anorganického dusíka v pôde.

Naša práca bola súčasťou riešenia výskumného projektu VEGA 1/0152/08 Systémy hospodárenia na pôde, ich vplyv na produkčnú schopnosť pôdy pre udržanie racionálnej produkcie plodín.

### 3 MATERIÁL A METODIKA

Uvádzanú problematiku sme riešili na experimentálnej báze **FAPZ SPU Nitra - Dolná Malanta**.

Výskumno-experimentálna báza je lokalizovaná pri osade Dolná Malanta, vzdialená cca 5000 m ENE smerom od areálu univerzity. Geograficky sa územie nachádza v západnej časti Žitavskej pahorkatiny, ktorej charakteristický trojuholníkový tvar vymedzuje pohorie Tríbeč a rieky Nitra a Žitava. Lokalita výskumnej bázy je rovinatá s nepatrným sklonom k juhu. Nadmorská výška dosahuje 175 – 180 m.

Výskumná báza sa nachádza na rozhraní sprašových sedimentov Žitavskej pahorkatiny a svahových sedimentov pohoria Tríbeč, v teplej klimatickej oblasti na hnedozemných zosprašovaných proluviálnych sedimentoch, kde priemerná teplota za vegetačné obdobie je 16,4° C a priemerný ročný úhrn zrážok 561 mm.

Problematiku sme riešili vo **vegetačných obdobiach** 2006/2007 a 2007/2008 v podmienkach poľného stacionárneho pokusu, založeného metódou dlhých pásov v štvornásobnom opakovaní.

**Osevný postup** bol nasledovný:

1. Hrach
2. Jačmeň
3. Kukurica
4. Ďatelina lúčna
5. Pšenica

**Modelovou plodinou** bola pšenica letná f. ozimná odroda Samantha.

V pokuse boli použité nasledovné **spôsoby obrábania** pôdy:

- B1**                   stredne hlboká orba (do 0,25 m)  
**B2**                   tanierovanie

V rámci každého obrábania pôdy sme použili tri **varianty hnojenia**:

- 0**                   nehnojená kontrola  
**PH**               bilančné hnojenie NPK hnojivami na priemernú úrodnú hladinu  
v závislosti od obsahu živín v pôde  
**PH + zv.**       bilančné hnojenie NPK hnojivami na priemernú úrodnú hladinu  
v závislosti od obsahu živín v pôde + zaoranie pozberových zvyškov

Pôdne vzorky boli odoberané pôdnymi vrtákmi z dvoch **hlbok pôdneho profilu:**

**0,0 - 0,3 m**

**0,3 - 0,6 m**

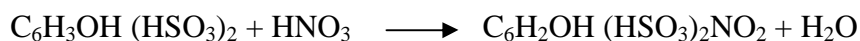
Vzorky pôdy sme odoberali v dvojtyždňových intervaloch v priebehu celého vegetačného obdobia. V odobratých vzorkách boli okamžite stanovené obsahy dusičnanového a amónneho dusíka a spočítaním obsahov sme dostali hodnotu anorganického dusíka. Opakovanie variantov bolo 4 násobné.

Výsledky sme vyhodnotili formou tabuliek.

### **3.1 Stanovenie dusičnanového dusíka (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)**

Princíp:

Kyselina fenol 2,4 - disulfónová sa ľahko nitruje v polohe 6 podľa rovnice:



Alkalický roztok kyseliny fenol 6 - nitro, 2,4 - disulfónovej je žltý, pričom intenzita sfarbenia závisí od obsahu NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

Pracovný postup:

Naváži sa 50 g čerstvo odobratej pôdnej vzorky (súčasne sa stanoví v ďalšej navážke % vlhkosti) do 500 ml banky a zaleje sa 250 ml 1%-ného K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Obsah banky sa trepe 30 minút. Potom sa suspenzia filtruje skladaným filtrom. Filtrát musí byť číry. Z filtrátu odpipetujeme 40 ml do porcelánovej misky a opatrne necháme odparovať, pretože dlhším ohrievaním môže dôjsť k stratám na dusičnanoch. Na druhej strane si však treba uvedomiť, že sa reakcia kyseliny fenol 2,4 -disulfónovej s dusičnanom neuskutočňuje za prítomnosti vody. Po vychladení sa pridajú 3 ml fenoldisulfónovej kyseliny, odparok sa dôkladne rozotrie tyčinkou a nechá stáť 10 minút. Pridá sa 15 ml studenej vody a mieša sa tyčinkou, kým sa celý zvyšok odparku nerozpustí. Potom sa pomaly pridáva 6N NH<sub>4</sub>OH až do alkalickéj reakcie, čo sa prejaví vznikom žltého sfarbenia a naviac sa ešte pridajú 3 ml NH<sub>4</sub>OH. Roztok sa preleje do 100 ml odmerných baniek, doplní sa vodou a intenzita sfarbenia sa meria kolorimetricky pri vlnovej dĺžke 420 nm. Štandardné roztoky sa pripravujú obdobne odparením, ako je uvedené v postupe.

Z nameranej extinkcie hľadanej koncentrácie dusičnanov a z kalibračnej krivky sa zistí obsah NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

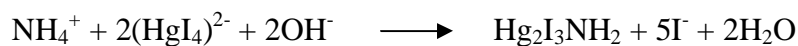
### 3.2 Stanovenie amónneho dusíka (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)

#### Princíp:

Nesslerovo činidlo spôsobuje v alkalickom prostredí s amoniakom žlté sfarbenie, ktorého intenzita je úmerná množstvu amoniaku.

#### Pracovný postup:

Z filtrátu sa odpipetuje 25 ml do 100 ml odmernej banky, pridajú sa 2 ml 10%-ného vínanového roztoku. Následne sa pridá destilovaná voda (asi na objem 93 ml), tesne pred meraním sa pridá 5 ml Nesslerovho činidla a obsah sa rýchlo pretrepe. Vzniknuté oranžové sfarbenie zodpovedá komplexom podľa rovnice:



Hneď sa meria intenzita sfarbenia na kolorimetri pri svetelnej vlnovej dĺžke 420 nm. Súčasne sa pripraví štandardné roztoky a pomocou kalibračnej krivky sa analýza vyhodnotí.

## 4 VÝSLEDKY

### 4.1 Hodnotenie dusičnanového dusíka

Hodnoty dusičnanového dusíka (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) namerané v odobratých vzorkách pôdy v priebehu vegetačného obdobia 2006/2007 a 2007/2008, v dvoch variantoch obrábania, pri troch spôsoboch hnojenia a dvoch hĺbkach odberov uvádzam v tabuľke 1.

Tabuľka 1 Obsah dusičnanového dusíka v mg.kg<sup>-1</sup> v pôde v priebehu sledovaného obdobia

Dátum odberu	Variant obrábania														
	B1						B2								
	Hnojenie														
	0		PH		PH+zv.		0		PH		PH+zv.				
Hĺbka odberu															
0,3		0,6		0,3		0,6		0,3		0,6		0,3		0,6	
25.9.2006	6,30	4,44	10,75	2,74	7,87	3,59	6,98	4,42	3,48	5,50	5,68	1,92			
10.10.2006	9,56	4,16	7,33	4,02	7,78	3,78	7,72	5,27	7,35	3,81	9,41	3,74			
23.10.2006	8,88	4,45	11,19	3,92	11,80	11,00	9,82	9,47	10,85	6,45	12,17	2,35			
8.11.2006	7,01	3,76	32,60	4,93	15,99	8,00	10,31	3,18	15,41	6,83	22,92	3,41			
13.3.2007	3,71	7,21	3,55	2,72	3,11	4,50	2,52	2,81	2,55	2,84	2,20	2,26			
27.3.2007	2,37	3,24	1,87	1,83	3,94	4,82	1,82	1,46	2,11	1,87	1,67	1,40			
10.4.2007	2,18	1,81	1,85	1,63	1,68	2,08	2,09	1,46	2,67	1,96	2,36	1,49			
24.4.2007	1,92	1,95	3,15	1,75	3,42	2,56	3,29	2,93	2,80	2,81	2,34	1,80			
15.5.2007	2,44	2,22	7,28	2,78	2,95	2,62	2,29	2,35	11,52	5,14	2,64	2,41			
4.6.2007	2,08	2,04	2,13	1,87	11,25	3,58	2,09	1,92	2,20	2,03	2,49	1,79			
18.6.2007	2,00	1,65	2,17	1,71	2,06	2,11	2,07	1,72	5,06	3,25	2,20	1,95			
2.7.2007	3,46	2,10	2,99	1,64	2,91	2,07	2,84	1,87	2,50	1,50	3,44	1,52			
25.9.2007	4,21	4,17	2,58	1,32	2,92	2,05	2,81	1,30	3,22	2,44	2,62	2,01			
8.10.2007	4,25	2,13	8,12	6,37	3,97	3,43	5,71	2,06	4,01	2,33	4,26	2,37			
22.10.2007	7,01	6,29	14,55	13,32	7,51	3,04	5,61	3,96	5,21	2,95	5,22	2,42			
5.11.2007	8,39	3,62	16,65	5,97	12,68	3,82	8,67	3,26	6,24	3,24	7,53	6,61			
10.3.2008	2,06	2,99	2,05	2,72	2,08	2,71	2,31	3,12	2,40	3,29	3,15	3,06			
31.3.2008	1,80	1,43	2,62	2,92	3,20	1,59	1,95	1,59	2,04	1,82	3,29	1,67			
14.4.2008	1,59	1,12	6,17	1,54	3,81	1,29	1,59	1,48	3,02	1,59	2,79	1,98			
29.4.2008	1,54	1,24	1,70	1,24	2,41	1,70	1,46	1,28	1,72	1,40	1,73	1,46			
13.5.2008	1,67	1,43	1,43	1,43	1,99	1,93	1,35	1,26	1,87	1,63	1,68	1,47			
26.5.2008	0,96	0,86	0,99	1,02	0,94	1,02	0,77	0,64	1,09	0,71	0,96	0,87			
10.6.2008	1,09	1,08	1,10	1,18	1,49	1,48	1,22	1,17	2,48	1,42	1,51	1,35			
23.6.2008	1,35	1,51	1,48	1,37	1,25	1,08	1,79	1,41	1,53	1,23	1,29	1,25			

#### 4.1.1 Vegetačné obdobie 2006/2007

##### 4.1.1.1 Variant B1 – stredne hlboká orba

Celkovo za **variant B1** bola najnižšia hodnota obsahu  $\text{N-NO}_3^-$  1,63  $\text{mg.kg}^{-1}$  zistená pri bilančnom hnojení NPK hnojivami bez zaorania pozberových zvyškov (PH) v hĺbke 0,3 – 0,6 m pri odbere 10.4.2007. Najvyššia hodnota obsahu  $\text{N-NO}_3^-$ , 32,60  $\text{mg.kg}^{-1}$ , bola zistená pri bilančnom hnojení NPK hnojivami bez zaorania pozberových zvyškov (PH) v hĺbke 0,0 – 0,3 m pri odbere 8.11.2006. Po prepočítaní nameraných hodnôt, priemerná hodnota obsahu  $\text{N-NO}_3^-$  za B1 variant bez ohľadu na spôsob hnojenia a hĺbku odberu predstavuje 4,65  $\text{mg.kg}^{-1}$ .

Z hľadiska **porovnania hĺbok odberov** bola v hĺbke 0,0 – 0,3 m nameraná hodnota 32,6  $\text{mg.kg}^{-1}$   $\text{N-NO}_3^-$ , čo je zároveň najvyššou hodnotou všetkých odberov variantu B1 a v hĺbke 0,3 – 0,6 m bola nameraná celkovo najnižšia hodnota variantu B1, 1,63  $\text{mg.kg}^{-1}$   $\text{N-NO}_3^-$ .

**Porovnaním jesenného (2006) a jarného (2007) obdobia** vegetácie pšenice letnej f. ozimnej bola v jeseni nameraná najvyššia hodnota všetkých odberov variantu B1, a to 32,60  $\text{mg.kg}^{-1}$   $\text{N-NO}_3^-$  a na jar zase najnižšia hodnota variantu B1, 1,63  $\text{mg.kg}^{-1}$   $\text{N-NO}_3^-$ . Celkovo vyšší obsah dusičnanového dusíka v pôde v období jeseň 2006 a nižší v období jar 2007 naznačujú aj priemerné hodnoty za tieto odbery, jeseň 8,16  $\text{mg.kg}^{-1}$   $\text{N-NO}_3^-$  a jar 2,90  $\text{mg.kg}^{-1}$   $\text{N-NO}_3^-$ .

Tabuľka 2 *Prepočítané hodnoty dusičnanového dusíka v  $\text{mg.kg}^{-1}$  za VO 2006/2007 a variant B1*

$\text{NO}_3^-$	B1	0	PH	PH+zv.	0,3 m	0,6 m	2006	2007
min	1,63	1,65	1,63	1,68	1,68	1,63	2,74	1,63
max	32,60	9,56	32,60	15,99	32,60	11,00	32,60	11,25
priemer	4,65	3,79	4,93	5,23	5,93	3,37	8,16	2,90

##### 4.1.1.2 Variant B2 – tanierovanie

Celkovo za **variant B2** bola najnižšia hodnota obsahu  $\text{N-NO}_3^-$  1,4  $\text{mg.kg}^{-1}$  zistená pri bilančnom hnojení NPK hnojivami so zaoraním pozberových zvyškov (PH+zv.) v hĺbke 0,3 – 0,6 m pri odbere 27.3.2007. Najvyššia hodnota obsahu  $\text{N-NO}_3^-$ , 22,92  $\text{mg.kg}^{-1}$ , bola zistená pri bilančnom hnojení NPK hnojivami so zaoraním pozberových zvyškov (PH+zv.) v hĺbke 0,0 – 0,3 m pri odbere 8.11.2006. Po prepočítaní nameraných hodnôt, priemerná

hodnota obsahu  $\text{N-NO}_3^-$  za B2 variant bez ohľadu na spôsob hnojenia a hĺbku odberu predstavuje  $4,18 \text{ mg.kg}^{-1}$ .

Z hľadiska **porovnania hĺbok odberov** bola v hĺbke 0,0 – 0,3 m nameraná hodnota  $22,92 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ N-NO}_3^-$ , čo je zároveň najvyššou hodnotou všetkých odberov variantu B2 a v hĺbke 0,3 – 0,6 m bola nameraná celkovo najnižšia hodnota variantu B2,  $1,4 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ N-NO}_3^-$ .

**Porovnaním jesenného (2006) a jarného (2007) obdobia** vegetácie pšenice letnej f. ozimnej bola v jeseni nameraná najvyššia hodnota všetkých odberov variantu B2, a to  $22,92 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ N-NO}_3^-$  a na jar zase najnižšia hodnota variantu B2,  $1,4 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ N-NO}_3^-$ . Celkovo vyšší obsah dusičnanového dusíka v pôde v období jeseň 2006 a nižší v období jar 2007 naznačujú aj priemerné hodnoty za tieto odbery, jeseň  $7,44 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ N-NO}_3^-$  a jar  $2,55 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ N-NO}_3^-$ .

Tabuľka 3 *Prepočítané hodnoty dusičnanového dusíka v  $\text{mg.kg}^{-1}$  za VO 2006/2007 a variant B2*

$\text{NO}_3^-$	B2	0	PH	PH+zv.	0,3 m	0,6 m	2006	2007
min	1,40	1,46	1,50	1,40	1,67	1,40	1,92	1,40
max	22,92	10,31	15,41	22,92	22,92	9,47	22,92	11,52
priemer	4,18	3,86	4,69	3,98	5,33	3,02	7,44	2,55

#### 4.1.2 Vegetačné obdobie 2007/2008

##### 4.1.2.1 Variant B1 – stredne hlboká orba

Celkovo za **variant B1** najnižšia hodnota obsahu  $\text{N-NO}_3^-$   $0,86 \text{ mg.kg}^{-1}$  bola zistená pri nehnojenej kontrole (0) v hĺbke 0,3 – 0,6 m pri odbere 26.5.2008. Najvyššia hodnota obsahu  $\text{N-NO}_3^-$ ,  $16,65 \text{ mg.kg}^{-1}$ , bola zistená pri bilančnom hnojení NPK hnojivami bez zaorania pozberových zvyškov (PH) v hĺbke 0,0 – 0,3 m pri odbere 5.11.2007. Po prepočítaní nameraných hodnôt, priemerná hodnota obsahu  $\text{N-NO}_3^-$  za B1 variant bez ohľadu na spôsob hnojenia a hĺbku odberu predstavuje  $3,24 \text{ mg.kg}^{-1}$ .

Z hľadiska **porovnania hĺbok odberov** bola v hĺbke 0,0 – 0,3 m nameraná hodnota  $16,65 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ N-NO}_3^-$ , čo je zároveň najvyššou hodnotou všetkých odberov variantu B1 a v hĺbke 0,3 – 0,6 m bola nameraná celkovo najnižšia hodnota variantu B1,  $0,86 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ N-NO}_3^-$ .

**Porovnaním jesenného (2007) a jarného (2008) obdobia** vegetácie pšenice letnej f. ozimnej bola v jeseni nameraná najvyššia hodnota všetkých odberov variantu B1, a to



16,65 mg.kg<sup>-1</sup> N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> a na jar zase najnižšia hodnota variantu B1, 0,86 mg.kg<sup>-1</sup> N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Celkovo vyšší obsah dusičnanového dusíka v pôde v období jeseň 2007 a nižší v období jar 2008 naznačujú aj priemerné hodnoty za tieto odbery, jeseň 6,18 mg.kg<sup>-1</sup> N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> a jar 1,76 mg.kg<sup>-1</sup> N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

Tabuľka 4 *Prepočítané hodnoty dusičnanového dusíka v mg.kg<sup>-1</sup> za VO 2007/2008 a variant B1*

NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	B1	0	PH	PH+zv.	0,3 m	0,6 m	2007	2008
min	0,86	0,86	0,99	0,94	0,94	0,86	1,32	0,86
max	16,65	8,39	16,65	12,68	16,65	13,32	16,65	6,17
priemer	3,24	2,66	4,16	2,89	3,88	2,59	6,18	1,76

#### 4.1.2.2 Variant B2 – tanierovanie

Celkovo za **variant B2** bola najnižšia hodnota obsahu N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 0,64 mg.kg<sup>-1</sup> zistená pri nehnojenej kontrole (0) v hĺbke 0,3 – 0,6 m pri odbere 26.5.2008. Najvyššia hodnota obsahu N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 8,67 mg.kg<sup>-1</sup>, bola zistená rovnako pri nehnojenej kontrole (0) v hĺbke 0,0 – 0,3 m pri odbere 5.11.2007. Po prepočítaní nameraných hodnôt, priemerná hodnota obsahu N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> za B2 variant bez ohľadu na spôsob hnojenia a hĺbku odberu predstavuje 2,49 mg.kg<sup>-1</sup>.

Z hľadiska **porovnania hĺbok odberov** bola v hĺbke 0,0 – 0,3 m nameraná hodnota 8,67 mg.kg<sup>-1</sup> N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, čo je zároveň najvyššou hodnotou všetkých odberov variantu B2 a v hĺbke 0,3 – 0,6 m bola nameraná celkovo najnižšia hodnota variantu B2, 0,64 mg.kg<sup>-1</sup> N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

**Porovnaním jesenného (2007) a jarného (2008) obdobia** vegetácie pšenice letnej f. ozimnej bola v jeseni nameraná najvyššia hodnota všetkých odberov variantu B2, a to 8,67 mg.kg<sup>-1</sup> N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> a na jar zase najnižšia hodnota variantu B2, 0,64 mg.kg<sup>-1</sup> N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Celkovo vyšší obsah dusičnanového dusíka v pôde v období jeseň 2007 a nižší v období jar 2008 naznačujú aj priemerné hodnoty za tieto odbery, jeseň 4,00 mg.kg<sup>-1</sup> N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> a jar 1,73 mg.kg<sup>-1</sup> N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

Tabuľka 5 *Prepočítané hodnoty dusičnanového dusíka v mg.kg<sup>-1</sup> za VO 2007/2008 a variant B2*

NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	B2	0	PH	PH+zv.	0,3 m	0,6 m	2007	2008
min	0,64	0,64	0,71	0,87	0,77	0,64	1,30	0,64
max	8,67	8,67	6,24	7,53	8,67	6,61	8,67	3,29
priemer	2,49	2,41	2,45	2,61	2,95	2,03	4,00	1,73

#### 4.1.3 Sumarizácia dusičnanového dusíka

Priemerné hodnoty **variantov obrábania B1 a B2** zahŕňajú všetky odbery uskutočnené v príslušnom variante obrábania, počas oboch sledovaných vegetačných období, vo všetkých troch variantoch hnojenia, v oboch hĺbkach a vo všetkých termínoch odberov. Vyššia priemerná hodnota obsahu  $\text{N-NO}_3^-$  bola po prepočte zistená pri variante stredne hlboká orba (B1), a to  $3,94 \text{ mg.kg}^{-1}$ , v porovnaní s variantom tanierovanie (B2), kde priemerná hodnota dosiahla  $3,33 \text{ mg.kg}^{-1}$ .

Priemerné hodnoty **variantov hnojenia 0, PH a PH+zv.** zahŕňajú všetky odbery uskutočnené v príslušnom variante hnojenia, počas oboch vegetačných období, v oboch variantoch obrábania, v oboch hĺbkach a vo všetkých termínoch odberov. Najvyššia priemerná hodnota,  $4,06 \text{ mg.kg}^{-1}$ , bola zistená vo variante bilančné hnojenie NPK hnojivami bez zaorania pozberových zvyškov, v porovnaní s variantom bilančné hnojenie NPK hnojivami so zaoraním pozberových zvyškov, kde priemerná hodnota dosiahla  $3,68 \text{ mg.kg}^{-1}$  a nehnojenou kontrolou, kde priemerná hodnota dosiahla  $3,18 \text{ mg.kg}^{-1}$ .

Priemerné hodnoty **hlbok** odberov vzoriek **0,0 – 0,3** a **0,3 – 0,6 m** zahŕňajú všetky odbery uskutočnené v príslušnej hĺbke odberu, počas oboch vegetačných období, v oboch variantoch obrábania, vo všetkých troch variantoch hnojenia a vo všetkých termínoch odberov. Vyššia priemerná hodnota bola zistená v hĺbke 0,0 – 0,3 m, a to  $4,52 \text{ mg.kg}^{-1}$ . V hĺbke 0,3 – 0,6 m dosiahol priemerný obsah  $\text{N-NO}_3^-$   $2,75 \text{ mg.kg}^{-1}$ .

Priemerné hodnoty za **termíny** odberov zhrnuté do obdobia **jeseň a jar** zahŕňajú všetky odbery uskutočnené v príslušnom období, za obe vegetačné obdobia, v oboch variantoch obrábania, vo všetkých troch variantoch hnojenia a v oboch hĺbkach. Vyššia priemerná hodnota obsahu  $\text{N-NO}_3^-$  sa preukázala v jesennom období, kedy dosiahla  $6,45 \text{ mg.kg}^{-1}$ , zatiaľ čo priemerný obsah v jarnom období dosiahol  $2,23 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ N-NO}_3^-$ .

Priemerné hodnoty vyjadrujúce **spolupôsobenie** variantov **obrábania** s variantmi **hnojenia** zahŕňajú všetky odbery uskutočnené v príslušnej kombinácii obrábania a hnojenia, počas oboch vegetačných období, v oboch hĺbkach a vo všetkých termínoch odberu. Najvyššiu hodnotu dosiahol priemer meraní v kombinácii stredne hlboká orba – bilančné hnojenie NPK hnojivami bez zaorania pozberových zvyškov, a to  $4,55 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Sled ostatných kombinácií v zostupnom poradí je nasledovný:  $4,06 \text{ mg.kg}^{-1}$  stredne hlboká orba - bilančné hnojenie NPK hnojivami so zaoraním pozberových zvyškov;  $3,57 \text{ mg.kg}^{-1}$  tanierovanie - bilančné hnojenie NPK hnojivami bez zaorania pozberových zvyškov;  $3,29 \text{ mg.kg}^{-1}$  tanierovanie - bilančné hnojenie NPK hnojivami so zaoraním pozberových

zvyškov; 3,22 mg.kg<sup>-1</sup> stredne hlboká orba – nehnojená kontrola a 3,13 mg.kg<sup>-1</sup> tanierovanie – nehnojená kontrola.

Výraznejší vplyv na dynamiku dusičnanového dusíka v pôde v podobe celkovo vyšších priemerných hodnôt sa prejavil pri obrábaní stredne hlbokou orbou, bilančnom hnojení NPK hnojivami bez zaoranie pozberových zvyškov, ako aj pri ich spolupôsobení, v hĺbke pôdneho profilu 0,0 – 0,3 m a v jesennej časti vegetačného obdobia.

Tabuľka 6 Vplyv jednotlivých variantov sledovaných faktorov na dynamiku N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> za VO 2006/2007 a 2007/2008

OBRÁBANIE	HNOJENIE		HĽBKA		TERMÍN		OBR.+HNOJ.		
<b>B1</b>	3,94	<b>0</b>	3,18	do <b>0,3 m</b>	4,52	<b>jeseň</b>	6,45	<b>B1-0</b>	3,22
<b>B2</b>	3,33	<b>PH</b>	4,06	do <b>0,6 m</b>	2,75	<b>jar</b>	2,23	<b>B2-0</b>	3,13
		<b>PH+zv.</b>	3,68					<b>B1-PH</b>	4,55
								<b>B2-PH</b>	3,57
								<b>B1-PH+zv.</b>	4,06
								<b>B2-PH+zv.</b>	3,29

#### 4.1.4 Štatistická analýza dusičnanového dusíka

Súhrnné štatistické charakteristiky pre dusičnanový dusík sú uvedené v tabuľke 7. Priemer nameraných hodnôt N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dosiahol 3,66 ± 3,56 mg.kg<sup>-1</sup>. Najvyššia hodnota predstavuje 32,60 mg.kg<sup>-1</sup> a najnižšia 0,64 mg.kg<sup>-1</sup> N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Variačný koeficient má hodnotu 97,34 %.

Tabuľka 7 Sumárna štatistika N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> za VO 2006/2007 a 2007/2008

Štatistické charakteristiky	Hodnoty
Počet údajov	288
Priemer, mg.kg <sup>-1</sup>	3,65899
Rozptyl	12,6855
Smerodajná odchýlka	3,56167
Stredná chyba priemeru	0,209873
Minimálny obsah, mg.kg <sup>-1</sup>	0,64
Maximálny obsah, mg.kg <sup>-1</sup>	32,60
Variačné rozpätie	31,96
Variačný koeficient, %	97,3401
Suma	1053,79

Podľa údajov v tabuľke 8 možno na základe P-hodnoty analýzy variancie označiť vplyv na rozdiely v hodnotách obsahu  $N-NO_3^-$  za vysoko štatisticky preukazný v prípade faktorov hĺbka, termín odberu a rok. Vplyv hnojenia a obrábania je štatisticky preukazný. Vplyv vzájomného pôsobenia sledovaných faktorov je štatisticky vysoko preukazný v prípade hĺbky v interakcii s termínom odberu a štatisticky preukazný v prípade hĺbky a roku ako aj termínu odberu a roku.

Tabuľka 8 Analýza variancie  $N-NO_3^-$  za VO 2006/2007 a 2007/2008

Hlavné efekty	Suma štvorcov	Stupeň voľnosti	Priemerný štvorec	F-hodnota	P-hodnota
A: hĺbka	235,499	1	235,499	63,68	0,0000
B: hnojenie	32,0588	2	16,0294	4,33	0,0259
C: obrábanie	23,2733	1	23,2733	6,29	0,0200
D: odber	1544,44	11	140,403	37,96	0,0000
E: rok	164,001	1	164,001	44,34	0,0000
F: interakcie					
AB	17,1297	2	8,56486	2,32	0,1223
AC	0,94188	1	0,941878	0,25	0,6188
AD	421,955	11	38,3596	10,37	0,0000
AE	28,1313	1	28,1313	7,61	0,0115
BC	13,7103	2	6,85515	1,85	0,1803
BD	160,672	22	7,30327	1,97	0,0590
BE	5,67992	2	2,83996	0,77	0,4760
CD	55,717	11	5,06518	1,37	0,2544
CE	0,65647	1	0,656467	0,18	0,6776
DE	99,6785	11	9,06169	2,45	0,0354

Posúdením vplyvu jednotlivých faktorov na rozdiely obsahu  $N-NO_3^-$  možno za štatisticky preukazný považovať vplyv hĺbky odberu vzoriek, termínu odberu a roku, a to pri 95% aj 99%-nej hladine významnosti. Vplyv odberu sa ako štatisticky významný prejavil v prípade kombinácií odberov 2. a 3., 4., 10., 12.; 3. a 6., 7., 8., 9., 11.; 4. a 6., 7., 8., 9., 11.; 11. a 10., 12., a to pri 95%-nej hladine významnosti. Pri 99%-nej hladine významnosti majú štatisticky významný vplyv 4. odber a 6., 7., 8., 11.; 10. odber a 6., 7., 8., 11.; 12. odber a 6., 7., 8., 11. Vplyv hnojenia a obrábania nie je štatisticky preukazný. Hodnoty sú uvedené v tabuľke 9.

Tabuľka 9 Test variačného rozpätia  $N-NO_3^-$  za VO 2006/2007 a 2007/2008

Faktor		Počet	LS-priemer	Homogénne skupiny	
				95%	99%
HĽBKA	0,0 - 0,3	144	4,56326	X	X
	0,3 - 0,6	144	2,75472	X	X
HNOJENIE	0	96	3,24177	X	X
	PH	96	4,05844	X	X
	PH+zv.	96	3,67677	X	X
OBRÁBANIE	B1	144	3,37472	X	X
	B2	144	3,94326	X	X
ODBER	1	24	3,97167	XX	XX
	2	24	5,1225	X	XX
	3	24	7,47667	X	XX
	4	24	9,20958	X	X
	5	24	2,99667	XX	XX
	6	24	2,26333	X	X
	7	24	2,13458	X	X
	8	24	2,31833	X	X
	9	24	2,74083	X	XX
	10	24	1,92917	X	X
	11	24	1,855	X	X
	12	24	1,88958	X	X
ROK	2006/2007	144	4,41361	X	X
	2007/2008	144	2,90438	X	X

## 4.2 Hodnotenie amónneho dusíka

Hodnoty amónneho dusíka ( $\text{N-NH}_4^+$ ) namerané v odobratých vzorkách pôdy v priebehu vegetačného obdobia 2006/2007 a 2007/2008, v dvoch variantoch obrábania, pri troch spôsoboch hnojenia a dvoch hĺbkach odberov uvádzam v tabuľke 10.

Tabuľka 10 Obsah amónneho dusíka v  $\text{mg.kg}^{-1}$  v pôde v priebehu sledovaného obdobia

Dátum odberu	Variant obrábania														
	B1						B2								
	Hnojenie														
	0		PH		PH+zv.		0		PH		PH+zv.				
Hĺbka odberu [m]															
0,3		0,6		0,3		0,6		0,3		0,6		0,3		0,6	
25.9.2006	4,25	4,26	3,97	4,16	4,31	3,85	4,14	4,21	4,68	5,07	3,86	4,31			
10.10.2006	4,58	4,51	4,34	4,61	4,84	4,80	5,06	5,40	4,85	5,04	4,97	5,06			
23.10.2006	4,18	4,27	3,87	4,43	5,39	5,57	5,62	5,59	5,35	4,64	4,25	4,73			
8.11.2006	3,50	3,13	6,67	3,62	3,27	3,26	3,94	3,63	3,67	3,54	3,75	3,55			
13.3.2007	5,22	4,90	5,43	5,02	5,54	5,72	5,33	4,80	4,89	5,26	5,28	5,18			
27.3.2007	3,87	3,59	3,93	3,81	15,99	13,39	3,03	3,44	3,25	3,31	3,55	3,64			
10.4.2007	3,82	4,20	4,09	4,07	4,02	3,96	4,17	4,86	4,35	4,33	4,64	4,47			
24.4.2007	3,95	3,77	4,33	4,25	4,58	4,15	3,85	3,60	4,55	4,73	3,98	5,20			
15.5.2007	3,52	4,15	5,83	4,81	4,74	5,29	4,78	5,60	6,04	6,18	5,10	4,62			
4.6.2007	3,71	3,93	4,81	6,66	8,26	7,86	4,69	4,79	4,53	4,73	4,84	4,75			
18.6.2007	4,27	4,04	4,36	4,48	4,12	4,22	4,88	4,74	13,05	8,74	4,92	4,80			
2.7.2007	4,42	2,69	4,31	4,43	4,72	4,45	4,89	4,87	5,78	5,56	5,51	5,42			
25.9.2007	3,97	3,91	3,89	3,92	4,27	4,69	4,79	4,82	4,21	4,52	4,50	4,56			
8.10.2007	3,73	4,30	4,66	4,68	4,66	4,84	5,39	5,48	5,61	5,28	5,90	5,50			
22.10.2007	4,52	3,01	4,72	3,63	3,62	3,99	3,62	3,63	3,78	3,65	3,56	3,60			
5.11.2007	4,91	5,00	5,14	4,51	5,41	5,25	5,74	5,64	5,63	5,99	6,02	15,69			
10.3.2008	5,05	6,45	4,95	4,88	4,96	4,83	5,28	5,55	5,19	4,69	5,48	5,96			
31.3.2008	4,96	4,83	5,23	5,09	5,74	5,38	5,38	5,51	5,68	6,02	6,57	5,84			
14.4.2008	4,65	4,65	9,51	6,69	7,16	6,62	6,97	8,66	11,00	9,47	8,78	9,50			
29.4.2008	5,94	6,34	5,76	7,02	8,18	7,41	6,04	8,65	6,11	6,41	5,96	6,07			
13.5.2008	4,28	4,72	4,76	5,04	4,96	5,11	6,00	6,69	6,83	8,51	7,83	8,59			
26.5.2008	4,62	4,74	5,07	5,42	5,64	5,05	5,25	6,06	6,94	6,50	6,88	6,57			
10.6.2008	4,99	4,66	5,14	5,52	4,62	5,42	6,13	5,95	6,65	6,07	6,37	6,55			
23.6.2008	4,64	4,78	5,18	5,41	4,85	5,51	6,19	6,34	6,38	8,09	8,81	9,89			

## 4.2.1 Vegetačné obdobie 2006/2007

### 4.2.1.1 Variant B1 – stredne hlboká orba

Celkovo za **variant B1** bola najnižšia hodnota obsahu  $\text{N-NH}_4^+$ , 2,69  $\text{mg.kg}^{-1}$ , zistená pri nehnojenej kontrole (0) v hĺbke 0,3 – 0,6 m pri odbere 2.7.2007. Najvyššia hodnota obsahu  $\text{N-NH}_4^+$ , 15,99  $\text{mg.kg}^{-1}$ , bola zistená pri bilančnom hnojení NPK hnojivami so zaoraním pozberových zvyškov (PH+zv.) v hĺbke 0,0 – 0,3 m pri odbere 27.3.2007. Po prepočítaní nameraných hodnôt, priemerná hodnota obsahu  $\text{N-NH}_4^+$  za B1 variant bez ohľadu na spôsob hnojenia a hĺbku odberu predstavuje 4,77  $\text{mg.kg}^{-1}$ .

Z hľadiska **porovnania hĺbok odberov** bola v hĺbke 0,0 – 0,3 m nameraná hodnota 15,99  $\text{mg.kg}^{-1}$   $\text{N-NH}_4^+$ , čo je zároveň najvyššou hodnotou všetkých odberov variantu B1 a v hĺbke 0,3 – 0,6 m bola nameraná celkovo najnižšia hodnota variantu B1, 2,69  $\text{mg.kg}^{-1}$   $\text{N-NH}_4^+$ .

**Porovnaním jesenného (2006) a jarného (2007) obdobia** vegetácie pšenice letnej f. ozimnej bola na jar nameraná najvyššia hodnota všetkých odberov variantu B1, a to 15,99  $\text{mg.kg}^{-1}$   $\text{N-NH}_4^+$  a zároveň aj celkovo najnižšia hodnota variantu B1, 2,69  $\text{mg.kg}^{-1}$   $\text{N-NH}_4^+$ . V jesennom období dosiahla maximálna hodnota 6,67  $\text{mg.kg}^{-1}$   $\text{N-NH}_4^+$  a minimálna 3,13  $\text{mg.kg}^{-1}$ . Priemerné hodnoty za obe obdobia hovoria o vyrovnanosti obsahu  $\text{N-NH}_4^+$  v pôde počas vegetácie, na jeseň to bolo 4,32  $\text{mg.kg}^{-1}$  a na jar 4,99  $\text{mg.kg}^{-1}$   $\text{N-NH}_4^+$ .

Tabuľka 11 Prepočítané hodnoty amónneho dusíka v  $\text{mg.kg}^{-1}$  za VO 2006/2007 a variant B1

$\text{NH}_4^+$	B1	0	PH	PH+zv.	0,3 m	0,6 m	2006	2007
min	2,69	2,69	3,62	3,26	3,27	2,69	3,13	2,69
max	15,99	5,22	6,67	15,99	15,99	13,39	6,67	15,99
priemer	4,77	4,03	4,59	5,68	4,86	4,68	4,32	4,99

### 4.2.1.2 Variant B2 – tanierovanie

Celkovo za **variant B2** bola najnižšia hodnota obsahu  $\text{N-NH}_4^+$ , 3,03  $\text{mg.kg}^{-1}$ , zistená pri nehnojenej kontrole (0) v hĺbke 0,0 – 0,3 m pri odbere 27.3.2007. Najvyššia hodnota obsahu  $\text{N-NH}_4^+$ , 13,05  $\text{mg.kg}^{-1}$ , bola zistená pri bilančnom hnojení NPK hnojivami bez zaorania pozberových zvyškov (PH) v hĺbke 0,0 – 0,3 m pri odbere 18.6.2007. Po prepočítaní nameraných hodnôt, priemerná hodnota obsahu  $\text{N-NH}_4^+$  za B2 variant bez ohľadu na spôsob hnojenia a hĺbku odberu predstavuje 4,81  $\text{mg.kg}^{-1}$ .

Z hľadiska **porovnania hĺbok odberov** bola v hĺbke 0,0 – 0,3 m nameraná najvyššia hodnota všetkých odberov variantu B2, teda 13,05 mg.kg<sup>-1</sup> N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, ale aj najnižšia hodnota variantu B2, 3,03 mg.kg<sup>-1</sup> N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. V hĺbke 0,3 – 0,6 m bol obsah N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> vyrovnanejší. Minimálna hodnota neklesla pod 3,31 mg.kg<sup>-1</sup> a maximálna nestúpila nad 8,74 mg.kg<sup>-1</sup> N- NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

**Porovnaním jesenného (2006) a jarného (2007) obdobia** vegetácie pšenice letnej f. ozimnej bola najnižšia (3,03 mg.kg<sup>-1</sup>) aj najvyššia (13,05 mg.kg<sup>-1</sup>) hodnota amónneho dusíka z odberov variantu B2 zistená v jarnom období vegetácie, zatiaľ čo pri jesenných odberoch bol rozsah hodnôt výrazne nižší. Priemerné hodnoty oboch období sú pomerne vyrovnané, jeseň 4,53 mg.kg<sup>-1</sup> a jar 4,95 mg.kg<sup>-1</sup>.

Tabuľka 12 *Prepočítané hodnoty amónneho dusíka v mg.kg<sup>-1</sup> za VO 2006/2007 a variant B2*

NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	B2	0	PH	PH+zv.	0,3 m	0,6 m	2006	2007
min	3,03	3,03	3,25	3,55	3,03	3,31	3,36	3,03
max	13,05	5,62	13,05	5,51	13,05	8,74	5,62	13,05
priemer	4,81	4,57	5,26	4,60	4,83	4,78	4,53	4,95

#### 4.2.2 Vegetačné obdobie 2007/2008

##### 4.2.2.1 Variant B1 – stredne hlboká orba

Celkovo za **variant B1** bola najnižšia hodnota obsahu N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, 3,01 mg.kg<sup>-1</sup>, zistená pri nehnojenej kontrole (0) v hĺbke 0,3 – 0,6 m pri odbere 22.10.2007. Najvyššia hodnota obsahu N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, 9,51 mg.kg<sup>-1</sup>, bola zistená pri bilančnom hnojení NPK hnojivami bez zaorania pozberových zvyškov (PH) v hĺbke 0,0 – 0,3 m pri odbere 14.4.2008. Po prepočítaní nameraných hodnôt, priemerná hodnota obsahu N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> za B1 variant bez ohľadu na spôsob hnojenia a hĺbku odberu predstavuje 5,11 mg.kg<sup>-1</sup>.

Z hľadiska **porovnania hĺbok odberov** bola v hĺbke 0,0 – 0,3 m nameraná hodnota 9,51 mg.kg<sup>-1</sup> N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, čo je zároveň najvyššou hodnotou všetkých odberov variantu B1 a v hĺbke 0,3 – 0,6 m bola nameraná celkovo najnižšia hodnota variantu B1, 3,01 mg.kg<sup>-1</sup> N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

**Porovnaním jesenného (2007) a jarného (2008) obdobia** vegetácie pšenice letnej f. ozimnej bola na jar zistená najvyššia hodnota všetkých odberov variantu B1, a to 9,51 mg.kg<sup>-1</sup> N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Najnižšia hodnota jarných odberov dosiahla 4,28 mg.kg<sup>-1</sup>. Na jeseň zodpovedá najnižšia hodnota celkovo najnižšej hodnote variantu B1, 3,01 mg.kg<sup>-1</sup> N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.



Najvyššia nameraná hodnota v jesennom období dosiahla 5,41 mg.kg<sup>-1</sup> N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Priemerná hodnota jarných odberov (5,47 mg.kg<sup>-1</sup> N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) je nepatrne vyššia ako priemer jesenných odberov (4,38 mg.kg<sup>-1</sup> N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>).

Tabuľka 13 Prepočítané hodnoty amónneho dusíka v mg.kg<sup>-1</sup> za VO 2007/2008 a variant B1

NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	B1	0	PH	PH+zv.	0,3 m	0,6 m	2007	2008
min	3,01	3,01	3,63	3,62	3,62	3,01	3,01	4,28
max	9,51	6,45	9,51	8,18	9,51	7,41	5,41	9,51
priemer	5,11	4,74	5,24	5,34	5,12	5,09	4,38	5,47

#### 4.2.2.2 Variant B2 – tanierovanie

Celkovo za **variant B2** najnižšia hodnota obsahu N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, 3,56 mg.kg<sup>-1</sup>, bola zistená pri bilančnom hnojení NPK hnojivami so zaoraním pozberových zvyškov (PH+zv.) v hĺbke 0,0 – 0,3 m pri odbere 22.10.2007. Najvyššia hodnota obsahu N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, 15,69 mg.kg<sup>-1</sup>, bola zistená rovnako pri bilančnom hnojení NPK hnojivami so zaoraním pozberových zvyškov (PH+zv.) v hĺbke 0,3 – 0,6 m pri odbere 5.11.2007. Po prepočítaní nameraných hodnôt predstavuje priemerná hodnota obsahu N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> za B2 variant bez ohľadu na spôsob hnojenia a hĺbku odberu 6,30 mg.kg<sup>-1</sup>.

Z hľadiska **porovnania hĺbok odberov** bola v hĺbke 0,3 – 0,6 m nameraná hodnota 15,69 mg.kg<sup>-1</sup> N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, čo je zároveň najvyššou hodnotou všetkých odberov variantu B2 a v hĺbke 0,0 – 0,3 m bola nameraná celkovo najnižšia hodnota variantu B2, 3,56 mg.kg<sup>-1</sup> N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

**Porovnaním jesenného (2007) a jarného (2008) obdobia** vegetácie pšenice letnej f. ozimnej bola v jeseni nameraná najvyššia hodnota všetkých odberov variantu B2, a to 15,69 mg.kg<sup>-1</sup> N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> a zároveň aj najnižšia hodnota variantu B2, 3,56 mg.kg<sup>-1</sup> N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Celkovo vyšší obsah dusičnanového dusíka v pôde v období jar 2008 a nižší v období jeseň 2007 naznačujú aj priemerné hodnoty za tieto odbery, jar 6,81 mg.kg<sup>-1</sup> N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> a jeseň 5,30 mg.kg<sup>-1</sup> N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

Tabuľka 14 Prepočítané hodnoty amónneho dusíka v mg.kg<sup>-1</sup> za VO 2007/2008 a variant B2

NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	B2	0	PH	PH+zv.	0,3 m	0,6 m	2007	2008
min	3,56	3,62	3,65	3,56	3,56	3,60	3,56	4,69
max	15,69	8,66	11,00	15,69	11,00	15,69	15,69	11,00
priemer	6,30	5,82	6,22	6,87	6,04	6,57	5,30	6,81

### 4.2.3 Sumarizácia amónneho dusíka

Vo **variantoch obrábania B1 a B2** bola po prepočte zistená vyššia priemerná hodnota obsahu  $\text{N-NH}_4^+$  vo variante tanierovanie (B2), a to  $5,56 \text{ mg.kg}^{-1}$ , v porovnaní s variantom stredne hlboká orba (B1), kde priemerná hodnota dosiahla  $4,94 \text{ mg.kg}^{-1}$ .

V prípade **variantov hnojenia 0, PH a PH+zv.** bola najvyššia priemerná hodnota,  $5,62 \text{ mg.kg}^{-1}$ , zistená vo variante bilančné hnojenie NPK hnojivami so zaoraním pozberových zvyškov, v porovnaní s variantom bilančné hnojenie NPK hnojivami bez zaorania pozberových zvyškov, kde priemerná hodnota dosiahla  $5,33 \text{ mg.kg}^{-1}$  a nehnojenou kontrolou, kde priemerná hodnota dosiahla  $4,79 \text{ mg.kg}^{-1}$ .

Porovnaním **hlbok** odberov vzoriek **0,0 – 0,3** a **0,3 – 0,6 m** bola zistená vyššia priemerná hodnota v hĺbke 0,3 – 0,6 m, a to  $5,28 \text{ mg.kg}^{-1}$ . V hĺbke 0,0 – 0,3 m dosiahol priemerný obsah  $\text{N-NH}_4^+$   $5,21 \text{ mg.kg}^{-1}$ .

V rámci **termínov** odberov zhrnutých do obdobia **jeseň a jar** sa vyššia priemerná hodnota obsahu  $\text{N-NH}_4^+$  preukázala v jarnej období, kedy dosiahla  $5,55 \text{ mg.kg}^{-1}$ , zatiaľ čo priemerný obsah v jesennom období dosiahol  $4,63 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ N-NH}_4^+$ .

Za **spolupôsobenie** variantov **obrábania** s variantmi **hnojenia** dosiahol najvyššiu hodnotu priemer meraní v kombinácii tanierovanie - bilančné hnojenie NPK hnojivami bez zaorania pozberových zvyškov a tanierovanie - bilančné hnojenie NPK hnojivami so zaoraním pozberových zvyškov, zhodne  $5,74 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Sled ostatných kombinácií v zostupnom poradí je nasledovný:  $5,51 \text{ mg.kg}^{-1}$  stredne hlboká orba - bilančné hnojenie NPK hnojivami so zaoraním pozberových zvyškov;  $5,20 \text{ mg.kg}^{-1}$  tanierovanie - nehnojená kontrola;  $4,92 \text{ mg.kg}^{-1}$  stredne hlboká orba - bilančné hnojenie NPK hnojivami bez zaorania pozberových zvyškov a  $4,38 \text{ mg.kg}^{-1}$  stredne hlboká orba - nehnojená kontrola.

Výraznejší vplyv na dynamiku amónneho dusíka v pôde v podobe celkovo vyšších priemerných hodnôt sa prejavil pri obrábaní tanierovaním, bilančnom hnojení NPK hnojivami so zaoraním pozberových zvyškov a zároveň aj pri ich spolupôsobení, kde bola hodnota totožná s kombináciou tanierovanie - bilančné hnojenie bez zaorania pozberových zvyškov, ďalej v hĺbke pôdneho profilu 0,3 – 0,6 m a v jarnej časti vegetačného obdobia.

Tabuľka 15 Vplyv jednotlivých variantov sledovaných faktorov na dynamiku N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> za VO 2006/2007 a 2007/2008

OBRÁBANIE	HNOJENIE		HĽBKA		TERMÍN		OBR.+HNOJ.		
<b>B1</b>	4,94	<i>0</i>	4,79	<i>do 0,3 m</i>	5,21	<i>jeseň</i>	4,63	<b>B1-0</b>	4,38
<b>B2</b>	5,56	<i>PH</i>	5,33	<i>do 0,6 m</i>	5,28	<b>jar</b>	5,55	<b>B2-0</b>	5,20
		<b>PH+zv.</b>	5,62					<b>B1-PH</b>	4,92
								<b>B2-PH</b>	5,74
								<b>B1-PH+zv.</b>	5,51
								<b>B2-PH+zv.</b>	5,74

#### 4.2.4 Štatistická analýza amónneho dusíka

Z výsledkov sumárnej štatistiky N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, ktoré uvádzam v tabuľke 16 vyplýva priemerná hodnota obsahu N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 5,23 ± 1,72 mg.kg<sup>-1</sup>. Najvyššia hodnota dosiahla 15,99 mg.kg<sup>-1</sup> N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> a najnižšia 1,46 mg.kg<sup>-1</sup>. Variačný koeficient predstavuje 32,92 %.

Tabuľka 16 Sumárna štatistika N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> za VO 2006/2007 a 2007/2008

Štatistické charakteristiky	Hodnoty
Počet údajov	288
Priemer, mg.kg <sup>-1</sup>	5,23174
Rozptyl	2,9669
Smerodajná odchýlka	1,72247
Stredná chyba priemeru	0,101498
Minimálny obsah, mg.kg <sup>-1</sup>	2,69
Maximálny obsah, mg.kg <sup>-1</sup>	15,99
Variačné rozpätie	14,53
Variačný koeficient, %	32,92%
Suma	1506,74

P-hodnota analýzy variancie uvedená v tabuľke 17 vyjadruje štatisticky vysoko preukazný vplyv na rozdiely obsahu N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> v prípade faktorov hnojenie, obrábanie, odber a rok. Vplyv hĺbky nie je štatisticky preukazný. Porovnaním interakcie sledovaných faktorov sa zistili štatisticky vysoko preukazné rozdiely v prípade vzájomného pôsobenia faktorov hnojenie a odber, obrábanie a odber, obrábanie a rok ako aj odber a rok.

Tabuľka 17 Analýza variancie N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> za VO 2006/2007 a 2007/2008

Hlavné efekty	Suma štvorcov	Stupeň voľnosti	Priemerný štvorec	F-hodnota	P-hodnota
A: hĺbka	0,726213	1	0,726213	0,82	0,3758
B: hnojenie	38,4103	2	19,2052	21,61	0,0000
C: obrábanie	24,9795	1	24,9795	28,11	0,0000
D: odber	72,2816	11	6,57106	7,39	0,0000
E: rok	56,3197	1	56,3197	63,37	0,0000
F: interakcie AB	1,94599	2	0,972994	1,09	0,3522
AC	3,02949	1	3,02949	3,41	0,0783
AD	6,51772	11	0,59252	0,67	0,7539
AE	3,29346	1	3,29346	3,71	0,0673
BC	4,85069	2	2,42534	2,73	0,0874
BD	69,9099	22	3,17772	3,58	0,0021
BE	0,322192	2	0,161096	0,18	0,8354
CD	76,7426	11	6,9766	7,85	0,0000
CE	21,4305	1	21,4305	24,11	0,0001
DE	110,081	11	10,0073	11,26	0,0000

Tabuľka 18 umožňuje posúdenie vplyvu sledovaných faktorov na hodnoty  $N-NH_4^+$ . Ako štatisticky významný sa prejavil vplyv obrábania a roku pri 95% aj 99%-nej hladine významnosti. Pri 95%-nej hladine významnosti bola preukázaná štatistická významnosť nehnojenej kontroly vo vzťahu k obojm hnojeným variantom, medzi hnojenými variantmi navzájom sa štatistická významnosť neprejavila. Pri 99%-nej hladine sa prejavila štatistická významnosť nehnojenej kontroly k bilančnému hnojeniu NPK hnojivami so zaoraním pozberových zvyškov. Vplyv termínu odberu je štatisticky preukazný len v prípade 7. a 1., 3. odberu, a to pri hladine významnosti 95 % aj 99 %. Štatisticky nevýznamný je vplyv hĺbky.

Tabuľka 18 Test variačného rozpätia  $N-NH_4^+$  za VO 2006/2007 a 2007/2008

Faktor		Počet	LS-priemer	Homogénne skupiny	
				95%	99%
HĽBKA	0,0 - 0,3	144	5,18153	X	X
	0,3 - 0,6	144	5,28196	X	X
HNOJENIE	0	96	4,74448	X	X
	PH	96	5,3271	X	XX
	PH+zv.	96	5,62365	X	X
OBRÁBANIE	B1	144	4,93724	X	X
	B2	144	5,52625	X	X
ODBER	1	24	4,29667	X	X
	2	24	4,92042	XX	XX
	3	24	4,30083	X	X
	4	24	5,02175	XX	XX
	5	24	5,24333	XX	XX
	6	24	5,45542	XX	XX
	7	24	6,02667	X	X
	8	24	5,26042	XX	XX
	9	24	5,58417	XX	XX
	10	24	5,5125	XX	XX
	11	24	5,61208	XX	XX
	12	24	5,54667	XX	XX
ROK	2006/2007	144	4,78953	X	X
	2007/2008	144	5,67396	X	X

### 4.3 Hodnotenie anorganického dusíka

Hodnoty anorganického dusíka ( $N_{an}$ ) namerané v odobratých vzorkách pôdy v priebehu vegetačného obdobia 2006/2007 a 2007/2008, v dvoch variantoch obrábania, pri troch spôsoboch hnojenia a dvoch hĺbkach odberov uvádzam v tabuľke 19.

Tabuľka 19 Obsah anorganického dusíka v  $mg.kg^{-1}$  v pôde v priebehu sledovaného obdobia

Dátum odberu	Variant obrábania														
	B1						B2								
	Hnojenie														
	0		PH		PH+zv.		0		PH		PH+zv.				
Hĺbka odberu															
0,3		0,6		0,3		0,6		0,3		0,6		0,3		0,6	
25.9.2006	10,55	8,70	14,72	6,90	12,18	7,44	11,12	8,63	8,16	10,57	9,54	6,23			
10.10.2006	14,14	8,67	11,67	8,63	12,62	8,58	12,78	10,67	12,20	8,85	14,38	8,80			
23.10.2006	13,06	8,72	15,06	8,35	17,19	16,57	15,44	15,06	16,20	11,09	16,42	7,08			
8.11.2006	10,51	6,89	39,27	8,55	19,26	11,26	14,25	6,81	19,08	10,37	26,67	6,96			
13.3.2007	8,93	12,11	8,98	7,74	8,65	10,22	7,85	7,61	7,44	8,10	7,48	7,44			
27.3.2007	6,24	6,83	5,70	5,64	19,93	18,21	4,85	4,90	5,36	5,18	5,22	5,04			
10.4.2007	6,00	6,01	5,94	5,70	5,70	6,04	6,26	6,32	7,02	6,29	7,00	5,96			
24.4.2007	5,87	5,72	7,48	6,00	8,00	6,71	7,14	6,53	7,35	7,54	6,32	7,00			
15.5.2007	5,96	6,37	13,11	7,59	7,69	7,91	7,07	7,95	17,56	11,32	7,74	7,03			
4.6.2007	5,79	5,97	6,94	8,53	19,51	11,44	6,78	6,71	6,73	6,76	7,33	6,54			
18.6.2007	6,27	5,69	6,53	6,19	6,18	6,33	6,95	6,46	18,11	11,99	7,12	6,75			
2.7.2007	8,88	4,79	6,30	6,07	7,63	6,52	7,73	6,74	8,28	7,06	8,95	6,94			
25.9.2007	8,18	8,08	6,47	5,24	7,19	6,74	7,60	6,12	7,43	6,96	7,12	6,57			
8.10.2007	7,98	6,43	12,78	11,05	8,63	8,27	11,10	7,54	9,62	7,61	10,16	7,87			
22.10.2007	11,53	9,30	19,27	16,95	11,13	7,03	9,23	7,59	8,99	6,60	8,78	6,02			
5.11.2007	13,30	8,62	21,79	10,48	18,09	9,07	14,41	8,90	11,87	9,23	13,55	22,30			
10.3.2008	7,11	9,44	7,00	7,60	7,04	7,54	7,59	8,67	7,59	7,98	8,63	9,02			
31.3.2008	6,76	6,26	7,85	8,01	8,94	6,97	7,33	7,10	7,72	7,84	9,86	7,51			
14.4.2008	6,24	5,77	15,68	8,23	10,97	7,91	8,56	10,14	13,02	11,06	11,57	11,48			
29.4.2008	7,48	7,58	7,46	8,26	10,59	9,11	7,50	9,93	7,83	7,81	7,69	7,53			
13.5.2008	5,95	6,15	6,19	6,47	6,95	7,08	7,35	7,95	8,70	10,14	9,51	10,06			
26.5.2008	5,58	5,60	6,06	6,44	6,58	6,07	6,02	6,70	8,03	7,21	7,84	7,44			
10.6.2008	6,08	5,74	6,24	6,70	6,11	6,90	7,35	7,12	9,13	7,49	7,88	7,90			
23.6.2008	5,99	6,29	6,66	6,78	6,10	6,59	7,95	7,75	7,91	9,32	10,10	11,14			

### 4.3.1 Vegetačné obdobie 2006/2007

#### 4.3.1.1 Variant B1 – stredne hlboká orba

Celkovo za **variant B1** bola najnižšia hodnota obsahu  $N_{an}$ , 4,71 mg.kg<sup>-1</sup>, zistená pri nehnojenej kontrole (0) v hĺbke 0,3 – 0,6 m pri odbere 2.7.2007. Najvyššia hodnota obsahu  $N_{an}$ , 39,27 mg.kg<sup>-1</sup>, bola zistená pri bilančnom hnojení NPK hnojivami bez zaorania pozberových zvyškov (PH) v hĺbke 0,0 – 0,3 m pri odbere 8.11.2006. Po prepočítaní nameraných hodnôt, priemerná hodnota obsahu  $N_{an}$  za B1 variant bez ohľadu na spôsob hnojenia a hĺbku odberu predstavuje 9,42 mg.kg<sup>-1</sup>.

Z hľadiska **porovnania hĺbok odberov** bola v hĺbke 0,0 – 0,3 m nameraná hodnota 39,27 mg.kg<sup>-1</sup>  $N_{an}$ , čo je zároveň najvyššou hodnotou všetkých odberov variantu B1 a v hĺbke 0,3 – 0,6 m bola nameraná celkovo najnižšia hodnota variantu B1, 4,71 mg.kg<sup>-1</sup>  $N_{an}$ .

**Porovnaním jesenného (2006) a jarného (2007) obdobia** vegetácie pšenice letnej f. ozimnej bola v jeseni nameraná najvyššia hodnota všetkých odberov variantu B1, a to 39,27 mg.kg<sup>-1</sup>  $N_{an}$  a na jar zase najnižšia hodnota variantu B1, 4,71 mg.kg<sup>-1</sup>  $N_{an}$ . Celkovo vyšší obsah anorganického dusíka v pôde v období jeseň 2006 a nižší v období jar 2007 naznačujú aj priemerné hodnoty za tieto odbery, jeseň 12,48 mg.kg<sup>-1</sup> a jar 7,88 mg.kg<sup>-1</sup>.

Tabuľka 20 *Prepočítané hodnoty anorganického dusíka v mg.kg<sup>-1</sup> za VO 2006/2007 a variant B1*

$N_{an}$	B1	0	PH	PH+zv.	0,3 m	0,6 m	2006	2007
min	4,71	4,71	5,64	5,70	5,70	4,71	6,89	4,71
max	39,27	14,14	39,27	19,93	39,27	18,21	39,27	19,93
priemer	9,42	7,86	9,48	10,91	10,79	8,04	12,48	7,88

#### 4.3.1.2 Variant B2 – tanierovanie

Celkovo za **variant B2** bola najnižšia hodnota obsahu  $N_{an}$ , 4,85 mg.kg<sup>-1</sup>, zistená pri nehnojenej kontrole (0) v hĺbke 0,0 – 0,3 m pri odbere 27.3.2007. Najvyššia hodnota obsahu  $N_{an}$ , 26,67 mg.kg<sup>-1</sup>, bola zistená pri bilančnom hnojení NPK hnojivami so zaoraním pozberových zvyškov (PH+zv.) v hĺbke 0,0 – 0,3 m pri odbere 8.11.2006. Po prepočítaní nameraných hodnôt, priemerná hodnota obsahu  $N_{an}$  za B2 variant bez ohľadu na spôsob hnojenia a hĺbku odberu predstavuje 8,99 mg.kg<sup>-1</sup>.

Z hľadiska **porovnania hĺbok odberov** bola v hĺbke 0,0 – 0,3 m nameraná najvyššia hodnota všetkých odberov variantu B2, teda 26,67 mg.kg<sup>-1</sup>  $N_{an}$ , ale aj najnižšia hodnota

variantu B2, 4,85 mg.kg<sup>-1</sup> N<sub>an</sub>. V hĺbke 0,3 – 0,6 m minimálna hodnota N<sub>an</sub> neklesla pod 4,9 mg.kg<sup>-1</sup> a maximálna nestúpila nad 15,06 mg.kg<sup>-1</sup>.

**Porovnaním jesenného (2006) a jarného (2007) obdobia** vegetácie pšenice letnej f. ozimnej bola v jeseni nameraná najvyššia hodnota všetkých odberov variantu B2, a to 26,67 mg.kg<sup>-1</sup> N<sub>an</sub> a na jar zase najnižšia hodnota variantu B2, 4,85 mg.kg<sup>-1</sup> N<sub>an</sub>. Celkovo vyšší obsah anorganického dusíka v pôde v období jeseň 2006 a nižší v období jar 2007 naznačujú aj priemerné hodnoty za tieto odbery, jeseň 11,97 mg.kg<sup>-1</sup> N<sub>an</sub> a jar 7,5 mg.kg<sup>-1</sup>.

Tabuľka 21 *Prepočítané hodnoty anorganického dusíka v mg.kg<sup>-1</sup> za VO 2006/2007 a variant B2*

N <sub>an</sub>	B2	0	PH	PH+zv.	0,3	0,6	2006	2007
min	4,85	4,85	5,18	5,04	4,85	4,90	6,23	4,85
max	26,67	15,44	19,08	26,67	26,67	15,06	26,67	18,11
priemer	8,99	8,44	9,94	8,58	10,16	7,81	11,97	7,50

#### 4.3.2 Vegetačné obdobie 2007/2008

##### 4.3.2.1 Variant B1 – stredne hlboká orba

Celkovo za **variant B1** najnižšia hodnota obsahu N<sub>an</sub>, 5,24 mg.kg<sup>-1</sup>, bola zistená pri bilančnom hnojení NPK hnojivami bez zaorania pozberových zvyškov v hĺbke 0,3 – 0,6 m pri odbere 25.9.2007. Najvyššia hodnota obsahu N<sub>an</sub>, 21,79 mg.kg<sup>-1</sup>, bola zistená pri bilančnom hnojení NPK hnojivami bez zaorania pozberových zvyškov (PH) v hĺbke 0,0 – 0,3 m pri odbere 5.11.2007. Po prepočítaní nameraných hodnôt, priemerná hodnota obsahu N<sub>an</sub> za B1 variant bez ohľadu na spôsob hnojenia a hĺbku odberu vzorky predstavuje 8,34 mg.kg<sup>-1</sup>.

Z hľadiska **porovnania hĺbok odberov** bola v hĺbke 0,0 – 0,3 m nameraná hodnota 21,79 mg.kg<sup>-1</sup> N<sub>an</sub>, čo je zároveň najvyššou hodnotou všetkých odberov variantu B1 a v hĺbke 0,3 – 0,6 m bola zistená celkovo najnižšia hodnota variantu B1, 5,24 mg.kg<sup>-1</sup> N<sub>an</sub>.

**Porovnaním jesenného (2007) a jarného (2008) obdobia** vegetácie pšenice letnej f. ozimnej bola v jeseni nameraná najvyššia hodnota všetkých odberov variantu B1, a to 21,79 mg.kg<sup>-1</sup> N<sub>an</sub> a taktiež najnižšia hodnota variantu B1, 5,24 mg.kg<sup>-1</sup> N<sub>an</sub>. Celkovo vyšší obsah anorganického dusíka v pôde v období jeseň 2007 a nižší v období jar 2008 určujú aj priemerné hodnoty za tieto odbery, jeseň 10,57 mg.kg<sup>-1</sup> a jar 7,23 mg.kg<sup>-1</sup> N<sub>an</sub>.



Tabuľka 22 *Prepočítané hodnoty anorganického dusíka v mg.kg<sup>-1</sup> za VO 2007/2008 a variant B1*

N <sub>an</sub>	B1	0	PH	PH+zv.	0,3 m	0,6 m	2007	2008
min	5,24	5,58	5,24	6,07	5,58	5,24	5,24	5,58
max	21,79	13,30	21,79	18,09	21,79	16,95	21,79	15,68
priemer	8,34	7,39	9,40	8,23	9,00	7,69	10,57	7,23

#### 4.3.2.2 Variant B2 – tanierovanie

Celkovo za **variant B2** bola najnižšia hodnota obsahu N<sub>an</sub>, 6,02 mg.kg<sup>-1</sup>, zistená zhodne pri nehnojenej kontrole (0) v hĺbke 0,0 – 0,3 m pri odbere 26.5.2008 a pri bilančnom hnojení NPK hnojivami so zaoraním pozberových zvyškov (PH+zv.) v hĺbke 0,3 – 0,6 m pri odbere 22.10.2007. Najvyššia hodnota obsahu N<sub>an</sub>, 22,30 mg.kg<sup>-1</sup>, bola zistená pri bilančnom hnojení NPK hnojivami so zaoraním pozberových zvyškov (PH+zv.) v hĺbke 0,3 – 0,6 m pri odbere 5.11.2007. Po prepočítaní nameraných hodnôt priemerná hodnota obsahu N<sub>an</sub> za B2 variant bez ohľadu na spôsob hnojenia a hĺbku odberu predstavuje 8,78 mg.kg<sup>-1</sup>.

Z hľadiska **porovnania hĺbok odberov** bola v prípade oboch hĺbok, 0,0 – 0,3 m aj 0,3 – 0,6 m, zhodne nameraná najnižšia hodnota všetkých odberov variantu B2, teda 6,02 mg.kg<sup>-1</sup> N<sub>an</sub>. Maximálna hodnota variantu B2, 22,30 mg.kg<sup>-1</sup> N<sub>an</sub>, bola nameraná v hĺbke 0,3 – 0,6 m. Priemerné hodnoty obsahu anorganického dusíka sú takmer zhodné, 8,96 mg.kg<sup>-1</sup> v hĺbke 0,0 – 0,3 m a 8,60 mg.kg<sup>-1</sup> v hĺbke 0,3 – 0,6 m.

**Porovnaním jesenného (2007) a jarného (2008) obdobia** vegetácie pšenice letnej f. ozimnej bola v jeseni nameraná najvyššia hodnota všetkých odberov variantu B2, a to 22,30 mg.kg<sup>-1</sup> N<sub>an</sub>. Jesená aj jarná najnižšia nameraná hodnota sú totožné a zodpovedajú najnižšej hodnote variantu B2, 6,02 mg.kg<sup>-1</sup> N<sub>an</sub>. Priemerný obsah anorganického dusíka v pôde v období jeseň 2007 dosiahol 9,30 mg.kg<sup>-1</sup> N<sub>an</sub> a v období jar 2008 to bolo 8,52 mg.kg<sup>-1</sup> N<sub>an</sub>.

Tabuľka 23 *Prepočítané hodnoty anorganického dusíka v mg.kg<sup>-1</sup> za VO 2007/2008 a variant B2*

N <sub>an</sub>	B2	0	PH	PH+zv.	0,3 m	0,6 m	2007	2008
min	6,02	6,02	6,60	6,02	6,02	6,02	6,02	6,02
max	22,30	14,41	13,02	22,30	14,41	22,30	22,30	13,02
priemer	8,78	8,23	8,63	9,48	8,96	8,60	9,30	8,52

### 4.3.3 Sumarizácia anorganického dusíka

V prípade **variantov obrábania B1 a B2** dosiahla priemerná hodnota obsahu  $N_{an}$  zhodne hladinu  $8,88 \text{ mg.kg}^{-1}$  v oboch variantoch obrábania, stredne hlboká orba (B1) aj tanierovanie (B2).

Porovnaním **variantov hnojenia 0, PH a PH+zv.** bola zistená najvyššia priemerná hodnota,  $9,36 \text{ mg.kg}^{-1}$ , vo variante bilančné hnojenie NPK hnojivami bez zaorania pozberových zvyškov, v porovnaní s variantom bilančné hnojenie NPK hnojivami so zaoraním pozberových zvyškov, kde priemerná hodnota dosiahla  $9,30 \text{ mg.kg}^{-1}$  a nehnojenou kontrolou, kde priemerná hodnota dosiahla  $7,98 \text{ mg.kg}^{-1}$ .

Priemerná hodnota za **hlbku** odberov vzoriek **0,0 – 0,3** a **0,3 – 0,6 m** dosiahla vyššiu úroveň v hĺbke 0,0 – 0,3 m, a to  $9,73 \text{ mg.kg}^{-1}$ . V hĺbke 0,3 – 0,6 m dosiahol  $N_{an}$  priemerný obsah  $8,04 \text{ mg.kg}^{-1}$ .

V prípade **termínov** odberov zhrnutých do obdobia **jeseň a jar** sa vyššia priemerná hodnota obsahu  $N_{an}$  preukázala v jesennom období, kedy dosiahla  $11,08 \text{ mg.kg}^{-1}$ , zatiaľ čo priemerný obsah v jarnom období dosiahol  $7,78 \text{ mg.kg}^{-1} N_{an}$ .

Posúdením **spolupôsobenia** variantov **obrábania** a variantov **hnojenia** sa najvyššia hodnota prejavila v kombinácii stredne hlboká orba - bilančné hnojenie NPK hnojivami so zaoraním pozberových zvyškov, a to  $9,57 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Sled ostatných kombinácií v zostupnom poradí je nasledovný:  $9,44 \text{ mg.kg}^{-1}$  stredne hlboká orba - bilančné hnojenie NPK hnojivami bez zaorania pozberových zvyškov;  $9,29 \text{ mg.kg}^{-1}$  tanierovanie - bilančné hnojenie NPK hnojivami bez zaorania pozberových zvyškov;  $9,03 \text{ mg.kg}^{-1}$  tanierovanie - bilančné hnojenie NPK hnojivami so zaoraním pozberových zvyškov;  $8,34 \text{ mg.kg}^{-1}$  tanierovanie - nehnojená kontrola a  $7,63 \text{ mg.kg}^{-1}$  stredne hlboká orba - nehnojená kontrola.

Výraznejší vplyv na dynamiku anorganického dusíka v pôde v podobe celkovo vyšších priemerných hodnôt sa prejavil pri bilančnom hnojení NPK hnojivami bez zaorania pozberových zvyškov, v hĺbke pôdneho profilu 0,0 – 0,3 m a v jesennej časti vegetačného obdobia. Pri variantoch obrábania sa vplyv žiadneho z nich neprejavil, pretože v oboch prípadoch bola zistená rovnaká priemerná hodnota.

Tabuľka 24 Vplyv jednotlivých variantov sledovaných faktorov na dynamiku  $N_{an}$  za VO 2006/2007 a 2007/2008

OBRÁBANIE	HNOJENIE		HĽBKA		TERMÍN		OBR.+HNOJ.		
<b>B1</b>	8,88	0	7,98	do 0,3 m	9,73	<b>jeseň</b>	11,08	B1-0	7,63
<b>B2</b>	8,88	<b>PH</b>	9,36	do 0,6 m	8,04	<b>jar</b>	7,78	B2-0	8,34
		PH+zv.	9,30					B1-PH	9,44
								B2-PH	9,29
								<b>B1-PH+zv.</b>	9,57
								<b>B2-PH+zv.</b>	9,03

#### 4.3.4 Štatistická analýza anorganického dusíka

Súhrnná štatistika hodnôt anorganického dusíka podľa tabuľky 25 uvádza priemernú hodnotu obsahu  $N_{an}$   $8,86 \pm 3,86 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Maximálna hodnota predstavuje  $39,27 \text{ mg.kg}^{-1}$  a minimálna  $4,50 \text{ mg.kg}^{-1} N_{an}$ . Variačný koeficient je na úrovni 43,54 %.

Tabuľka 25 Sumárna štatistika  $N_{an}$  za VO 2006/2007 a 2007/2008

Štatistické charakteristiky	Hodnoty
Počet údajov	288
Priemer, $\text{mg.kg}^{-1}$	8,86059
Rozptyl	14,8836
Smerodajná odchýlka	3,85792
Stredná chyba priemeru	0,22733
Minimálny obsah, $\text{mg.kg}^{-1}$	4,79
Maximálny obsah, $\text{mg.kg}^{-1}$	39,27
Variačné rozpätie	34,77
Variačný koeficient, %	43,54%
Suma	2551,85

P-hodnota analýzy variancie v tabuľke 26 poukazuje na vplyv jednotlivých faktorov na rozdiely v obsahu  $N_{an}$ . Tie možno považovať za štatisticky vysoko preukazné v prípade hĺbky, hnojenia a odberu. Vysoká štatistická preukaznosť sa prejavila aj pri vzájomnom pôsobení hĺbky a odberu, hĺbky a roku a odberu a roku. Štatisticky preukazný je vplyv hnojenia a odberu ako aj obrábania a odberu.

Tabuľka 26 Analýza variancie  $N_{an}$  za VO 2006/2007 a 2007/2008

Hlavné efekty	Suma štvorcov	Stupeň voľnosti	Priemerný štvorec	F-hodnota	P-hodnota
A: hĺbka	215,299	1	215,299	33,41	0,0000
B: hnojenie	112,279	2	56,1394	8,71	0,0016
C: obrábanie	0,156334	1	0,156334	0,02	0,8777
D: odber	1194,34	11	108,576	16,85	0,0000
E: rok	26,566	1	26,566	4,12	0,0546
F: interakcie					
AB	27,4865	2	13,7432	2,13	0,1424
AC	10,1138	1	10,1138	1,57	0,2235
AD	387,333	11	35,2121	5,46	0,0004
AE	58,7076	1	58,7076	9,11	0,0063
BC	16,6278	2	8,31392	1,29	0,2953
BD	293,114	22	13,3234	2,07	0,0478
BE	2,45976	2	1,22988	0,19	0,8276
CD	166,729	11	15,1572	2,35	0,0422
CE	11,0098	1	11,0098	1,71	0,2047
DE	243,251	11	22,1138	3,43	0,0067

Na základe hodnôt získaných testom variačného rozpätia možno posúdiť štatistickú významnosť sledovaných faktorov pri dvoch hladinách významnosti. Ako štatisticky významný pri oboch hladinách významnosti sa prejavil vplyv hĺbky a roku. Medzi nehnojenou kontrolou a oboma hnojenými variantmi je štatisticky preukazný rozdiel na 95%-nej hladine významnosti, zatiaľ čo medzi hnojenými variantmi navzájom sa štatistická významnosť nepreukázala. Pri 99%-nej hladine významnosti sa prejavil štatisticky významný rozdiel medzi nehnojenou kontrolou a bilančným hnojením NPK hnojivami so zaoraním pozberových zvyškov. Štatisticky významný rozdiel sa prejavil v prípade 1.odberu a 3., 4.; 3.odberu a 5. – 12.; 4.odberu a 5. – 12., a to zhodne pri oboch hladinách významnosti. Vplyv obrábania je štatisticky nevýznamný. Príslušné údaje uvádza tabuľka 27.

Tabuľka 27 Analýza variačného rozpätia  $N_{an}$  za VO 2006/2007 a 2007/2008

Faktor		Počet	LS-priemer	Homogénne skupiny	
				95%	99%
HĽBKA	0,0 - 0,3	144	9,72521	X	X
	0,3 - 0,6	144	7,99597	X	X
HNOJENIE	0	96	7,98063	X	X
	PH	96	9,23708	X	XX
	PH+zv.	96	9,36406	X	X
OBRÁBANIE	B1	144	8,83729	X	X
	B2	144	8,88389	X	X
ODBER	1	24	8,26833	X	X
	2	24	10,0429	XX	XX
	3	24	11,7775	XX	XX
	4	24	14,2288	X	X
	5	24	8,00167	X	X
	6	24	7,71875	X	X
	7	24	8,11958	X	X
	8	24	7,51792	X	X
	9	24	8,31	X	X
	10	24	7,44167	X	X
	11	24	7,46708	X	X
	12	24	7,43292	X	X
ROK	2006/2007	144	4,78953	X	X
	2007/2008	144	5,67396	X	X

## Diskusia

Anorganický dusík ( $N_{an}$ ) predstavuje v pôde malú časť celkového dusíka ( $N_t$ ) a jeho množstvo sezónne podlieha častým a rýchlym zmenám. Anorganický dusík tvorí iba 0,5 – 3%-ný podiel na celkovom dusíku v pôde. V ornici sa nachádza približne 0,05 až 0,3 % celkového dusíka, čo predstavuje 2,25 až 13,5 t.ha<sup>-1</sup> do hĺbky 0,3 m (Bízik, Fecenko, 1996). Ročne sa v priemere zmineralizuje 1 až 3 % z celkového obsahu dusíka v pôde, čo predstavuje 25 až 150 kg N.ha<sup>-1</sup> (Bielek, 1998).

V podmienkach nášho pokusu boli namerané **hodnoty anorganického dusíka** v rozpätí 4,50 mg.kg<sup>-1</sup> až 39,27 mg.kg<sup>-1</sup> s priemernou hodnotou na úrovni 8,86 mg.kg<sup>-1</sup>. Anorganický dusík sa v pôde môže vyskytovať ako  $NH_4^+$ ,  $NO_3^-$ ,  $NO_2^-$ , NO a  $N_2$ , no z hľadiska prístupnosti pre rastliny sme sa zamerali na  $NH_4^+$  a  $NO_3^-$ . Priemerná hodnota dusičnanového dusíka dosiahla 3,66 mg.kg<sup>-1</sup> a v prípade amónneho to bolo 5,23 mg.kg<sup>-1</sup>. V relatívnom vyjadrení prepočítaných priemerných hodnôt tvorí N- $NO_3^-$  41,31 % a N- $NH_4^+$  59,03 % z priemernej hodnoty anorganického dusíka. V priemere je obsah N- $NO_3^-$  v porovnaní s N- $NH_4^+$  v pôde len nepatrne nižší, avšak o vyššej dynamike dusičnanového dusíka svedčí rozsah nameraných hodnôt, od 0,64 mg.kg<sup>-1</sup> do 32,60 mg.kg<sup>-1</sup> v porovnaní s amónnym dusíkom od 1,46 mg.kg<sup>-1</sup> do 15,99 mg.kg<sup>-1</sup>.

Obsah anorganického dusíka je výsledkom pôsobenia polykauzálnych vzťahov medzi obsahom a kvalitou organickej hmoty a v nej viazaného dusíka a podmienkami jeho mineralizácie, podmienenej mikrobiálnou činnosťou. Do interakcie biochemických procesov v pôde vstupujú aj poveternostné podmienky a pôdne vlastnosti, v spojitosti s ich fyzikálnymi a chemickými charakteristikami (Ondrišík, 1998).

Na základe nášho pokusu možno posúdiť **vplyv štyroch faktorov** na dynamiku anorganického dusíka v pôde, a to spôsob obrábania (stredne hlboká orba v porovnaní s tanierovaním), spôsob hnojenia (nehnojená kontrola, bilančné hnojenie NPK hnojivami na priemernú úrodovú hladinu bez zaorania pozberových zvyškov a bilančné hnojenie NPK hnojivami na priemernú úrodovú hladinu so zaoraním pozberových zvyškov), hĺbka (0,0 – 0,3 m a 0,3 – 0,6 m) a obdobie odberu (jesenná a jarná časť vegetácie, prípadne jednotlivé termíny odberov vzoriek).

Spôsob obrábania pôdy prostredníctvom rozdielnych aeračných podmienok ovplyvňuje mineralizačné a nitrifikačné procesy (Šimek, 2000).

Pri intenzívnejšom a hlbšom kyprení sa v pôde tvorí oveľa viac nitrátov ako na neobrobenej pôde alebo na pôde obrobenej len plytko (Kollár, 1992).

Hlbšia orba, v porovnaní s plytkou, zvyšuje biologickú aktivitu pôdy, a tým aj procesy uvoľňovania anorganického dusíka do pôdneho profilu (Demo, 1990).

Vzhľadom na výsledky realizovaného pokusu nemožno skutočnosť uvádzanú Demom (1990) a Kollárom (1992) s určitosťou potvrdiť. Priemerná hodnota  $N_{an}$  nameraná pri **obrábaní** stredne hlbokou orbou dosiahla  $8,84 \text{ mg.kg}^{-1}$ , pri tanierovaní to bolo  $8,88 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Rovnako ani vplyv spôsobu obrábania na procesy premien dusíka v pôde, ako uvádza Šimek (2000) nemožno na základe štatistickej analýzy potvrdiť. Rozdiely v obsahu  $N_{an}$  ovplyvnené variantom obrábania sa neprejavili ako štatisticky významné.

V súčasnej dobe je už dobre známe, že používanie priemyselných hnojív pri nedostatočnej zásobe organickej hmoty v pôdach je málo efektívne a môže mať negatívny vplyv na výšku úrod, zhoršenie stavu pôdnych agregátov, čiže na zhoršenie chemických a fyzikálnych vlastností pôd (Smatana et al., 2001).

Opodstatnenosť návratu pozberových zvyškov do pôdy sa preukázala aj na základe štatistickej analýzy nami nameraných obsahov dusíka v pôde. Priemerné hodnoty za jednotlivé varianty **hnojenia** boli nasledovné: nehnojená kontrola  $7,98 \text{ mg.kg}^{-1}$ , pri bilančnom hnojení NPK hnojivami bez zaorania pozberových zvyškov  $9,24 \text{ mg.kg}^{-1}$  a pri bilančnom hnojení NPK hnojivami so zaoraním pozberových zvyškov  $9,36 \text{ mg.kg}^{-1} N_{an}$ . Pri 99%-nej hladine významnosti sa prejavil štatisticky významný rozdiel medzi nehnojenou kontrolou a bilančným hnojením NPK hnojivami so zaoraním pozberových zvyškov.

Ako uvádza Němeček pre väčšinu pôd je prirodzené, že so zväčšujúcou sa hĺbkou pôdy v rámci orníčného horizontu dochádza k vzostupu obsahu amónneho dusíka a k poklesu obsahu dusičnanového dusíka (Ňaršanská, 2009).

V **hĺbke** 0,0 – 0,3 m bola zistená priemerná hodnota  $5,21 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ N-NH}_4^+$  a  $4,52 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ N-NO}_3^-$ , oproti obsahu  $5,28 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ N-NH}_4^+$  a  $2,75 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ N-NO}_3^-$  v hĺbke 0,3 – 0,6 m. Zhodnotením anorganického dusíka sme zistili takéto priemery:  $9,73 \text{ mg.kg}^{-1}$  v hĺbke 0,0 – 0,3 m a  $7,99 \text{ mg.kg}^{-1} N_{an}$  v hĺbke 0,3 – 0,6 m, čo súvisí s vyšším výskytom pôdnych mikroorganizmov v podpovrchových vrstvách pôdneho profilu. Vplyv hĺbky na rozdiel v obsahu  $N_{an}$  sa pri oboch hladinách významnosti prejavil ako štatisticky preukazný.

V jarnom období, v apríli až máji, sa v dôsledku otepľovania pôdy zvyšuje činnosť nitrifikačných baktérií a následne obsah anorganického dusíka dosahuje maximálnu hodnotu. Odberom dusíka pestovaným porastom, ako aj postupným znižovaním intenzity nitrifikácie sa

obsah anorganického dusíka v pôde znižuje. Nižšia teplota má za následok pokles príjmu  $\text{NO}_3^-$  a naopak stimuluje príjem  $\text{NH}_4^+$  (Fecenko, Ložek, 2000).

Najvyššia priemerná hladina  $N_{\text{an}}$  za obe **vegetačné obdobia** bola stanovená vo štvrtom odbere v poradí, teda v jesennej časti vegetácie, a to  $14,23 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Najnižšia hodnota obsahu  $N_{\text{an}}$  dosiahla  $7,43 \text{ mg.kg}^{-1}$ , a to vo dvanástom odbere, teda v jarnej časti vegetácie. Príčinou je vyššia spotreba dusíka porastom vo fenologických fázach vyvíjajúceho sa porastu s vyššími nárokmi na výživu. Štatisticky významný rozdiel sa prejavil v prípade 1.odberu a 3., 4.; 3.odberu a 5. – 12.; 4.odberu a 5. – 12., a to zhodne pri oboch hladinách významnosti.

Zmeny v obsahu a formách dusíka v pôde závisia nielen od hnojenia, ale aj od vlastností pôdy, spôsobu obrábania a poveternostných podmienok, ktoré podmieňujú mikrobiálne procesy mineralizácie a imobilizácie dusíka v pôde (Ondrišík, Urminská, 2005).

Najvyššia priemerná hodnota  $N_{\text{an}}$  sa prejavila v kombinácii stredne hlboká orba - bilančné hnojenie NPK hnojivami so zaoraním pozberových zvyškov, a to  $9,57 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Štatistická preukaznosť vplyvu **spolupôsobenia hnojenia a obrábania** sa však pri žiadnej zo sledovaných foriem dusíka neprejavila. K štatisticky významným vplyvom s najvyššou frekvenciou výskytu patrí spolupôsobenie hĺbky a termínu odberu ako aj roku a termínu odberu.



## Záver

Ukončením pokusu realizovanom na experimentálnej báze FAPZ SPU - Dolná Malanta sme dospeli k výsledkom, ktoré mi umožňujú zhodnotiť naplnenie cieľov vytýčených pre túto diplomovú prácu (vyhodnotením 24 odberov).

Vývoj **dusičnanového dusíka** v priebehu vegetačného obdobia pšenice letnej f. ozimnej možno zhodnotiť ako výrazne dynamický v porovnaní s amónnou formou dusíka, a to v dôsledku jeho vysokej pohyblivosti v pôde a dobrej prijateľnosti pre rastliny. Hraničné hodnoty  $\text{NO}_3^-$  sa počas dvoch vegetačných období pohybovali v rozmedzí  $0,64 \text{ mg.kg}^{-1}$  –  $32,60 \text{ mg.kg}^{-1}$ .

Zo sledovaných faktorov sa ako štatisticky vysoko významný na rozdiely v obsahu dusičnanového dusíka prejavil vplyv hĺbky, termínu odberu a roku. Pri 99%-nej hladine významnosti majú štatisticky významný vplyv 4. odber a 6., 7., 8., 11.; 10. odber a 6., 7., 8., 11.; 12. odber a 6., 7., 8., 11.

Najvýznamnejší vplyv na obsah dusičnanového dusíka mala hĺbka odberu vzorky, následne rok a odber.

Výraznejší vplyv na dynamiku dusičnanového dusíka v pôde v podobe celkovo vyšších priemerných hodnôt sa prejavil v hĺbke pôdneho profilu 0,0 – 0,3 m, počas vegetačného obdobia 2006/2007 a v jesennej časti vegetačného obdobia, čo je znázornené v prílohe Graf 1.

Obsah **amónneho dusíka** v pôde bol v priebehu vegetácie vyrovnanejší oproti dusičnanovému dusíku. Hodnoty dosiahli svoje maximum na úrovni  $15,99 \text{ mg.kg}^{-1}$  a minimum na úrovni  $2,69 \text{ mg.kg}^{-1}$ .

Ako štatisticky vysoko významné sa v prípade obsahov amónneho dusíka prejavili sledované faktory hnojenie, obrábanie, odber a rok. Vplyv termínu odberu je štatisticky preukazný v prípade 7. a 1., 3. odberu, a to pri hladine významnosti 95 % aj 99 %.

Vplyv štatisticky vysoko významných faktorov je najvyšší v prípade porovnania rokov, nasleduje vplyv obrábania, hnojenia a nakoniec dátum odberu.

Celkovo vyššie priemerne hodnoty amónneho dusíka sa prejavili v druhom sledovanom vegetačnom období, teda 2007/2008. Porovnaním variantov obrábania bola vyššia priemerná hodnota dosiahnutá pri tanierovaní (B2), z variantov hnojenia má prevahu vo výške priemernej hodnoty bilančné hnojenie NPK hnojivami so zaoraním pozberových zvyškov a odbery v jarnej časti vegetácie (Graf 2).

**Anorganický dusík** spája vlastnosti dusičnanového aj amónneho dusíka, no výraznejšie je priebeh jeho hodnôt ovplyvnený dusičnanovým, kde boli zaznamenané výraznejšie výkyvy hodnôt v priebehu vegetačného obdobia. Priebeh obsahov anorganického dusíka vyjadruje rozsah jeho hodnôt od minimálnej hodnoty na úrovni 4,79 mg.kg<sup>-1</sup> po maximálnu 39,27 mg.kg<sup>-1</sup>.

Na rozdiely v obsahu anorganického dusíka v priebehu vegetačných období mali štatisticky vysoko preukazný vplyv faktory hĺbka, hnojenie a odber. Štatisticky významný rozdiel sa prejavil v prípade 1.odberu a 3., 4.; 3.odberu a 5. – 12.; 4.odberu a 5. – 12., a to zhodne pri oboch hladinách významnosti.

Zostupné poradie významnosti je u preukázaných faktorov nasledovné: hĺbka, odber a hnojenie.

Vyššia úroveň priemernej hodnoty obsahu N<sub>an</sub> bola zistená v hĺbke 0,0 – 0,3 m, z hľadiska termínu odberov v jesennej časti vegetácie a v prípade variantov hnojenia sa najvyššia priemerná hodnota prejavila pri bilančnom hnojení NPK hnojivami so zaoraním pozberových zvyškov, ako to dokumentuje Graf 3.

V **hĺbke** 0,0 - 0,3 m boli namerané najvyššie hodnoty pre NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (32,60 mg.kg<sup>-1</sup>), NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (15,99 mg.kg<sup>-1</sup>) aj N<sub>an</sub> (39,27 mg.kg<sup>-1</sup>). Ornica je miestom aktívneho pôsobenia pôdnych mikroorganizmov a to sa prejavilo aj na hodnotách obsahov jednotlivých foriem dusíka. Faktor hĺbky mal štatisticky preukazný vplyv na obsah dusičnanového a anorganického dusíka.

Najvyššie hodnoty N<sub>an</sub> ako aj N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> boli namerané v jesennej **časti vegetácie** a najnižšie v jarnej, zatiaľ čo amónny dusík dosahoval svoje hraničné hodnoty len na jar. Vyššia dynamika dusičnanového dusíka v pôde a jeho prevaha nad amónnym v jesennej časti vegetácie súvisí s lepšou prístupnosťou N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> pre rastliny, jeho prioritným príjmom rastlinami, o čom svedčí výrazný pokles dusičnanového dusíka na začiatku jarného obdobia vegetácie, kedy dochádza k jeho vyššej spotrebe rozvíjajúcim sa porastom. Vplyv termínu odberu ako vplyv jediného faktora bol štatisticky preukazný pre všetky tri formy dusíka.

Štatisticky preukazný vplyv **obrábania** sa potvrdil len v prípade amónneho dusíka, s vyššou priemernou hodnotou dosiahnutou tanierovaním (B2).

Faktor **hnojenie** sa štatisticky preukazným vplyvom prejavil v prípade amónneho a anorganického dusíka. Zhodne v oboch prípadoch boli vyššie priemerné hodnoty zistené pri variante bilančné hnojenie NPK hnojivami so zaoraním pozberových zvyškov.

Štatisticky preukazný vplyv **spolupôsobenia** určitej formy **hnojenia** s variantom **obrábania** na zmeny obsahu dusíka v pôde sa podľa výsledkov štatistickej analýzy neprejavil pri žiadnej zo sledovaných foriem dusíka.

Na základe poznatkov nadobudnutých spracovaním diplomovej práce ako aj realizáciou pokusu a v súlade so závermi, ktoré z neho vyplynuli môžem **navrhúť optimálnu kombináciu** obrábania a hnojenia, ako nástrojov tvorby a ovplyvňovania kvality rastlinnej produkcie.

S ohľadom na efektívnu a racionálnu výživu porastu by som odporučila uplatňovať v praxi spôsob hnojenia NPK hnojivami so zaoraním pozberových zvyškov, a to pri dodržaní správneho načasovania aplikácie hnojív s ohľadom na priebeh fenologických fáz vývoja rastlín, v súlade s Nitrátovou direktívou a s výsledkami agrochemického skúšania pôdy. Prístupnosť dusíka pre rastliny a načasovanie jeho aplikácie môže mať zásadný vplyv na indikátory stavu životného prostredia. Z toho dôvodu je potrebné predchádzať nadbytku dusíka v pôde v čase, keď ho rastliny nedokážu spotrebovať a zamedziť negatívnym dopadom na zložky životného prostredia v dôsledku strát dusičnanov do podzemných vôd a ovzdušia. Význam organickej hmoty v pôde je dôležitý z hľadiska podpory aktivity mikroorganizmov, tvorby humusových látok a zachovania priaznivého štruktúrneho stavu pôdy.

Zo sledovaných variantov obrábania sa ako najoptimálnejší javí tanierovanie (B2), teda plytké spracovanie pôdy, ktoré umožňuje primeranú aeráciu pôdneho prostredia bez nadmerného narušenia pôdnej štruktúry, pôdných režimov a obmedzenia aktivity pôdných mikroorganizmov. Štatistickým spracovaním nameraných hodnôt anorganického dusíka sa práve v prípade tanierovania prejavil pozitívny vplyv na mineralizačné a nitrifikačné procesy prebiehajúce v pôdnom prostredí.

## Použitá literatúra

- § BIELEK, P. 1998. *Dusík v poľnohospodárskych pôdach Slovenska*. Bratislava : Výskumný ústav pôdnej úrodnosti, 1998. 254 s. ISBN 80-85361-44-2.
- § BIELEK, P. 1997. *Dusík v poľnohospodárskych pôdach Slovenska*: autoreferát doktorandskej práce. Nitra: SPU, 1997, 50 s.
- § BIELEK, P. - BRŇÁK, O. - BUBLINEC, E. 1991. *Ohrozená pôda*. Bratislava: Výskumný ústav pôdnej úrodnosti, Edícia – Pôda, 1991. 77 s.
- § BÍZIK, J. - FECENKO, J. - KOTVAS, F. - LOŽEK, O. 1998. *Metodika hnojenia a výživy rastlín*. 1. vyd. Bratislava : AT Publ., 1998. 112 s. ISBN 80-967812-1-9.
- § BÍZIK, J. - FECENKO, J. 1996. *Výživa rastlín*. 2. uprav. vyd. Nitra : Vysoká škola poľnohospodárska, 1996. 102 s. ISBN 80-7137-290-0.
- § BÍZIK, J. 1990. *Chemizmus živín v pôde : Študijné materiály pre postgraduálne štúdium "Optimalizácia výživy a hnojenia poľnohospodárskych plodín"*. Nitra : Vysoká škola poľnohospodárska, 1990. 53 s.
- § CIGLAR, J. - POSPIŠIL, R. - SMATANA, J. 1997. *Všeobecná rastlinná výroba*. 3. dopln. vyd. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita, 1997. 98 s. ISBN 80-7137-401-6.
- § DEMO, M. 1990. Vplyv rozdielneho základného obrábania pôdy na obsah a dynamiku anorganických foriem dusíka v ornici hnedozeme. In *Poľnohospodárstvo*, roč. 36, 1990, č. 3, s. 194-201.
- § FECENKO, J. - LOŽEK, O. 2000. *Výživa a hnojenie poľných plodín*. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2000. 442 s. ISBN 80-7137-777-5.
- § GALUŠČÁKOVÁ, L. 2007. Vplyv pestovateľských zásahov na zmeny obsahu anorganického dusíka v pôde: dizertačná práca. Nitra: SPU, 2007. 130 s.
- § HANES, J. – ČURLÍK, J. 1999. *Pedológia*. 3. nezmen. vyd. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita, 1999. 119 s. ISBN 80-7137-559-4.
- § HRONEC, O. et al. 2003. *Ekologické základy poľnohospodárskej výroby 2 : Pre študentov SPU*. Autori Monika Daňová. 1. vyd. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2003. 99 s. ISBN 80-8069-147-9.
- § JAMRIŠKA, P. 2005. Hnojenie prispieva k využívaniu potenciálu úrodnosti pšenice ozimnej. In: *Naše pole*, roč. 9, 2005, č. 10, 29 – 30 s. ISSN 1335-2466.
- § JAVOREKOVÁ, S. et al. 2008. *Biológia pôdy v agroekosystémoch*. 1. vyd. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2008. 349 s. ISBN 978-80-552-0007-1.

- § KLIMEKOVÁ, M. – LEHOCKÁ, Z. 2004. *Nitrátová smernica a možnosti jej uplatnenia v praxi* [online]. Piešťany: Výskumný ústav rastlinnej výroby. 2004. [cit. 2010-02-10]. Dostupné na:  
[http://www.agroporadenstvo.sk/ep/nitratova\\_smernica.pdf](http://www.agroporadenstvo.sk/ep/nitratova_smernica.pdf)
- § KOLLÁR, B. 1992. *Polnohospodárske sústavy : (Obrábanie pôdy)*. Nitra : Vysoká škola poľnohospodárska, 1992. 95 s. ISBN 80-7137-017-7.
- § KOVÁČIK, P. 2001. *Metodika bilancie živín v pôdach ekologicky hospodáriacich podnikov*. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2001. 43 s. ISBN 80-7137-957-3.
- § KOVÁČIK, P. 1997. *Rozbory pôd, rastlín, hnojív a výpočet dávok živín k poľným a záhradným plodinám*. 1. vyd. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita, 1997. 99 s.
- § KOVÁČIK, P. 1992. *Dynamika premien vybraných frakcií dusíka v pôde a jej využitie pri optimalizácii hnojenia jarného jačmeňa*. Nitra : Vysoká škola poľnohospodárska, 1992. 208 s. - 25 obr., 51 tab., lit. 221.
- § LOŽEK, O. - BÍZIK, J. - LOŽEK, J. 1997. *Výživa a hnojenie rastlín*. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita, 1997. 104 s. ISBN 80-7137-348-6.
- § MICHALÍK, I. 2001. *Molekulárne a energetické aspekty príjmu a asimilácie živín v rastlinách*. 1. vyd. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2001. 158 s. ISBN 80-7137-836-4.
- § ŇARŠANSKÁ, M. 2009. *Vplyv agrotechnických opatrení na dynamiku anorganického dusíka v pôde: dizertačná práca*. Nitra: SPU, 2009. 145 s.
- § NOSKOVIČ, J. - ONDRIŠÍK, P. 2003. *Ochrana a tvorba životného prostredia : Pre študentov SPU*. 1. vyd. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2003. 141 s. ISBN 80-8069-263-7.
- § ONDRIŠÍK, P. 1998. *Dynamika a migrácia minerálnych zlúčenín dusíka v pôdnom profile a možnosti ich regulácie*. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita, 1998. 159 s.
- § ONDRIŠÍK, P. 2001. *Obsah anorganických foriem dusíka v pôde pod monokultúrou kukurice*. In *Polnohospodárstvo*, roč. 47, 2001, č. 12, str. 913-922.
- § ONDRIŠÍK, P. 2002. *Vplyv spôsobu hnojenia na obsah  $N_{an}$  v pôde pod pšenickou letnou f. ozimnou*. In *Agrochémia*, roč. VI, 2002, č. 3, str. 6-8.

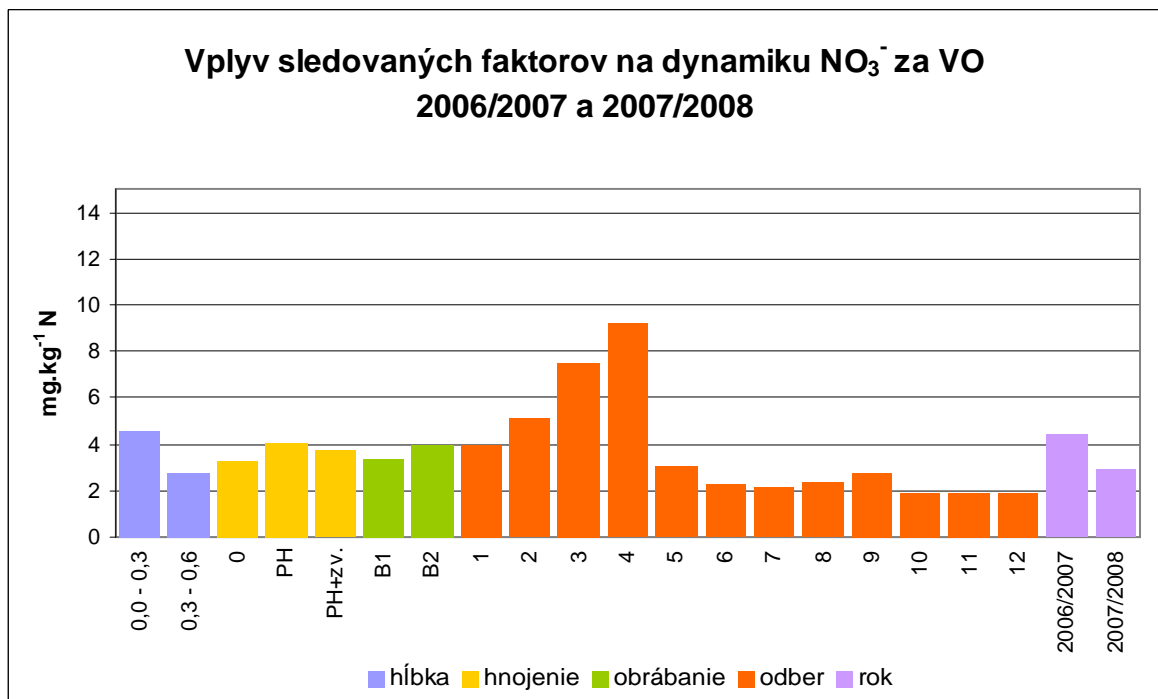
- § ONDRIŠÍK, P. - URMINSKÁ, J. 2005. Dynamika anorganického dusíka v půdě v závislosti od agrotechnických opatření. In: *Polnohospodárstvo*, roč. 51, 2005, č. 8, s. 393 – 400.
- § Projekt EFA. 1998. Program Európskej Komisie Leonardo da Vinci SK / 98 / 2 / 05612 / PI/II.1.1.a/FPC [online]. 1998. [cit. 2008-03-31]. Dostupné na: <http://www.efa.sk/sk/3/11/01-01.htm>
- § RAJCHARD, J. a i. 2002. *Ekologie III : Struktura a funkce ekosystému, produkční ekologie, biogeochemické cykly, chemické faktory prostředí, základy ekologie půdy, ekologie vodního prostředí, aktuální celosvětové ekologické problémy*. 1. vyd. České Budějovice : Kopp, 2002. 197 s. ISBN 80-7232-191-9.
- § SMATANA, J. - CIGLAR, J. - TÝR, Š. 2001. *Obrábanie pôdy*. Nitra: ES SPU, 2001. 11 s. ISBN 80-7137-825-9.
- § ŠIMEK, M. 2000. Nitrifikace v půdě – terminologie a metodologie. In *Rostlinná výroba*, roč. 46, 2000, č. 9, str. 385-395.
- § ŠIMONOVICHOVÁ, A. - PAVLIČKOVÁ K. 2002. *Základy mikrobiológie pre environmentalistov*. 1. vyd. Bratislava : Univerzita Komenského, 2002. 95 s. ISBN 80-223-1659-8.
- § ŠTEVLÍKOVÁ, T. et al. 2006. *Mikrobiológia*. 2. nezmen. vyd. 2. časť. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2006. 147 s. ISBN 80-8069-683-7.
- § ŠTEVLÍKOVÁ, T. 1995. *Vplyv priemyselných hnojív na pôdnobiologické pomery v pôdach pod trávnymi porastmi*. Nitra : Vysoká škola poľnohospodárska, 1995. 149 s.
- § ŠTEVLÍKOVÁ, T. - KOPČANOVÁ, Ľ. 1994. *Biológia intenzívne obhospodarovaných pôd*. 1. vyd. Nitra : Vysoká škola poľnohospodárska, 1994. 191 s. SBN 80-7137-173-4.
- § TLUSTOŠ, P. - BALÍK, J. - HANČ, A. - VANĚK, V. 1999. Pohyb dusíku v životním prostředí. In: *Agrochémia*, roč. 3, 1999, č. 39, s. 12-14.
- § TOBIAŠOVÁ, E. - ZAUJEC, A. 2004. *Biológia pôdy : Pre študentov SPU*. 1. vyd. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2004. 101 s. ISBN 80-8069-350-1.
- § TORMA, S. Dusík – nenahraditelný prvek v půdě a rostlině. In: *Agro*, roč. 10, 2005, č. 1, s. 27 – 29.
- § VANĚK, V. 2007. *Výživa polních a zahradních plodin*. Praha : Profi Press, 2007. 167 s. ISBN 976-80-86726-25-0.

- § VIDOVIČ, J. 2005. *Optimalizácia jarného prihnojovania ozimnej pšenice s N pri minimalizácii vyplavovania N z pôdy pomocou analýzy pôdy a dusíkového modelu* [online]. Piešťany: Výskumný ústav rastlinnej výroby. 2005. [cit. 2009- 11-20].  
Dostupné na: <http://www.agroporadenstvo.sk/rv/vurv/vidovic.htm>
- § VILČEK, J. - HRONEC, O. - BEDRNA, Z. 2005. *Environmentálna pedológia*. 1. vyd. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita ; Bratislava : Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy, 2005. 298 s. ISBN 80-8069-501-6.
- § ZIMA, M. 1999. *Fyziológia rastlín*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 1999. 154 s. ISBN 80-7137-587-X.

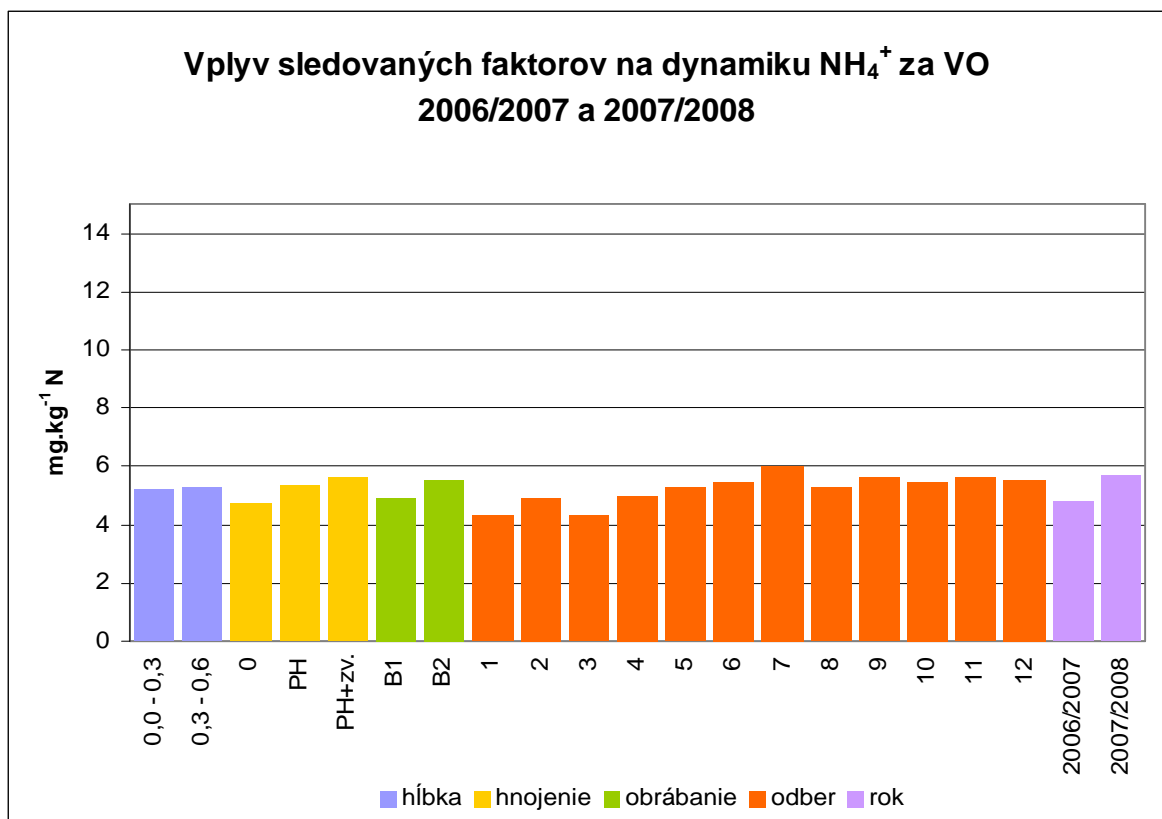
## **Prílohy**



Graf 1



Graf 2



Graf 3

